



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

조경학석사학위논문

제주도 연안의 풍수해 완충공간 계획

Soft Protection Planning for Mitigating Hydrological
Hazards in the Coastal Area of Jeju Island

2014년 2월

서울대학교 환경대학원

환경조경학과

성 혜 승

제주도 연안의 풍수해 완충공간 계획

지도교수 이 유 미

이 논문을 조경학석사학위논문으로 제출함

2013년 10월



서울대학교 환경대학원


환경조경학과

성 혜 승

성혜승의 석사학위논문을 인준함

2013년 12월

위 원 장		
부 위 원 장	김 세 훈	(인)
위 원	이 유 미	(인)



제주도 연안의 풍수해 완충공간 계획

서울대학교 환경대학원 환경조경학과
성 혜 승

위 논문은 서울대학교 및 환경대학원 환경조경학과 학위논문
관련 규정에 의거하여 심사위원 및 초빙심사위원의 지도과정을
충실히 이수하였음을 확인합니다.

2013년 12월

위 원 장 Hybe Kwon (인) (서울대학교 환경대학원 교수)
부 위 원 장 김세훈 (인) (서울대학교 환경대학원 교수)
위 원 이유미 (인) (서울대학교 환경대학원 교수)

국 문 초 록

해수면 상승은 범지구적인 현상으로서, 저지대 범람, 해안침식, 연안재해 영향 증대를 야기하여 곳곳의 연안역을 위협하고 있다. 제주도는 토지의 면적에 비해 해안선이 차지하는 비율이 높은 섬이라는 지형적 특성과 제주도의 주요 기능이 연안 저지대에 위치해있다는 점으로 인해 해수면 상승 현상에 매우 취약하다고 할 수 있다. 제주도는 세계 연평균 해수면 상승률보다 약 3배의 높은 상승률을 보이고 있어, 취약성은 더욱 가중화 될 것으로 예측되고 있다.

이러한 위험으로부터 연안역을 보호하기 위한 전통적인 방안은 경성호안(Hard Protection)이다. 이는 육역과 해역 사이에 독을 쌓아올림으로써 옮기기 어려운 도시기반시설을 효과적으로 보호하지만 빠른 해수면 상승은 제방 및 독을 월파하거나 손상시킬 수 있다. 특히, 제주도와 같이 지역의 주요산업이 관광인 경우, 계속해서 제방을 쌓아올리는 데 한계가 있다.

이에 비해, 연안완충공간은 경성호안에 대응하는 생태적 연성 연안 관리 방식(Soft Protection)으로서 환경의 변화에 유연하게 반응하는 방안으로 주목받고 있다. 해양에너지가 육역에 도달했을 때, 연안의 지형적 요소들은 외부 환경과의 동적인 에너지 교환을 통해 원래의 상태로 회복하고자 하는 특성을 가지고 있다. 즉, 연안 습지, 해안사구, 해안림, 암석 등 연안의 지형은 연안 재해로부터 완충 기능을 가지고 있다. 재해영향 완충 효과는 지형의 형태 및 구성에 따라 다르지만, 외부의 환경변화에 대해 탄력적이며, 생태적인 흐름을 이용하기에 환경 친화적이고, 해안 경관을 증진시킨다.

연안완충공간의 특성을 고찰하여 보았을 때, 제주도와 같이 관광중심의 환경적 가치가 높은 취약지역에 적합한 방법이라 판단된다. 이에 본 연구는 제주도를 대상지로 하여 연안완충공간이 적합한 재해 대응 방안인가에 대해 고찰하고, 지역 현황을 고려한 연안완충공간 계획을 제시하는 데에 첫 번째 목적을 두고 있다. 두 번째 목적은, 이러한 계획이 방재 뿐 아니라 생태적, 경제적, 경관적 이점을 갖출 수 있도록 제안하는 것이다. 이는 지역사회의 관심을 모으고, 계획의 실효성을 증가시키기 위함이다.

본 논문은 지형의 형성과정과 구성 물질을 기준으로 해안을 사질해안, 암석해안, 인공해안 3가지로 분류하여, 각 지형의 분포 상태, 생태적 문제점, 취약성을 분석하였다. 연안 재해는 해양에너지 즉, 물을 기본 바탕으로 한 에너

지 흐름을 기본으로 하기 때문에, 육역에서 투수층이 그 에너지를 여과하는데 매우 중요한 역할을 한다. 암석해안은 그 구성요인의 입자가 커 이미 그 자체만으로 투수력이 우수하다. 사질해안의 경우 연안육역을 구성하고 있는 지형이 다른 해안보다 다양하고, 외부 환경의 자극에 민감하게 반응하므로 사질해안에 중점을 두어 본 연구를 진행한다.

이를 바탕으로 각 연안 형태에 적합한 연안 재해에 대응하는 연안완충공간을 계획하였다. 계획 시 다음 4가지 사항을 고려하였다.

첫째, 연안완충공간을 계획하면서 주변 환경과 지역, 섬 전체의 생태를 살펴야 한다. 사질 연안과 암석 연안, 인공 연안이 맞물려 위치해 있기 때문에 지형에 따른 계획안을 제시하는 데에 있어 각각의 맞닿아있는 연안에 부정적인 영향을 미치지 않아야 한다. 섬은 하나의 생태계로서 작동해야 한다. 계획으로 인한 환경 부하를 최소화 한다. 해류를 최대한 방해하지 않도록 하되 생태계의 서식지를 보호하며, 재해의 영향을 줄일 수 있는 방향을 지향한다.

둘째, 투수층간의 연결을 최대화 한다. 이는 해양으로부터 육지까지 이어지는 구간에 생태 축의 연결을 도모하여 두 공간의 물질적, 비물질적인 상호작용을 가능하게 한다.

셋째, 해양 에너지를 분산시킬 수 있는 충분한 규모의 완충공간을 계획한다. 배후의 기능적, 지형적인 여건 상 내륙으로의 공간이 확보되지 않는다면 해양의 범위 내에 계획될 수 있다.

넷째, 경관의 측면과 관광의 이점 또한 고려한다. 이는 재해 발생 여부에 관련 없이 지역 자체의 가치를 증진시켜 사회에 이득을 창출한다. 이를 고려했을 때, 사회의 동의를 얻기 용이하며, 계획의 실현가능성이 높다.

본 연구에서는 도출된 고려사항에 따라 연안육역에의 계획을 제안하였다. 이를 통해 기대해볼 수 있는 장점은 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 연안 시스템을 복원할 수 있다. 녹지축의 확장을 통해 풍수해의 영향을 완화시킬 뿐 아니라 생태계와 경관을 풍부하게 한다. 둘째, 미래의 해수면 상승 영향을 고려했을 때에 새로운 워터프론트에 대한 해답이 될 수 있다. 셋째, 경제적, 문화적인 측면에서도 긍정적인 효과를 불러일으킨다. 지역의 식생으로 이루어진 다양한 경관은 지역민의 교육의 기회 제공, 지역 소속감 증가, 지역 특성화 및 홍보 시 이용 등의 이점을 제공하며, 관광객에게는 지역의 생태 체험, 숲길 및 소규모 공원에서의 휴식 등의 장점이 있다.

본 연구는 현재의 연안 관리 방식인 경성 구조물 축조 방식에서 나아가 생태적 연성 방재 방안의 필요성을 조명하고, 제주도에의 적용 가능성을 밝히는 데에 의의가 있다. 또한, 사회에서 기후변화 현상이 주요하게 논의되고 있는 가운데, 조경의 분야에서 제안할 수 있는 기후변화 대응 방안을 모색하고자 하였다. 계획안을 제시하는 데에 있어 지형적, 생태적 요인 외의 사회적 요인을 고려하지 못하였다. 국제적으로 기후변화에 적응하는 계획에 있어 사회의 다양한 이해관계들의 참여가 요구되고 있다. 계획을 제안하는 데 있어 지역 주민, 지방 정부, 전문가, 환경단체와 같은 NGO 등의 의견을 수렴하여 계획의 실효성을 높일 필요가 있다.

■ 주요어: 연안완충공간, 회복력, 풍수해, 해수면 상승, 제주도

■ 학번: 2012-22072

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 목적	1
제2절 연구의 범위	4
1. 공간 범위	4
2. 내용의 범위 및 용어정리	6
제3절 연구 방법	7
제4절 선행연구 고찰	8
1. 연안의 방재 기능에 대한 연구	8
2. 연안의 지형요소를 활용한 연안완충공간에 관한 연구	10
3. 본 논문의 차별성	11
제2장 제주도에서의 연안완충공간 계획의 적합성	12
제1절 제주도의 일반 사항	12
1. 관광의 기능	13
2. 생태적 가치	15
제2절 경성 호안(Hard Protection)	17
1. 연안 생태계 교란	17
2. 해수면 상승의 영향	18
제3절 연안완충공간의 개념정립	24
1. 연안의 회복력을 이용한 연안완충공간의 개념	24
2. 지형에 따른 연안완충공간의 기능과 체계	26
3. 연안의 회복력을 높이기 위한 연안완충공간 계획 방안 고찰	28
제4절 소결	33

제3장 제주도 연안 분석35

제1절 제주도 연안의 지형과 취약성35

제2절 사질 해안39

1. 사질해안의 투수층 구성 분석39

2. 해안도로44

3. 해안 사구의 현황46

제3절 암석 해안47

제4절 인공 해안51

1. 항구와 방조제51

2. 매립지54

제5절 소결57

제4장 연안완충공간 계획59

제1절 계획의 방향 및 세부 계획 대상지 선정59

1. 사질해안59

2. 암석해안60

3. 인공해안61

제2절 세부 대상지 계획62

1. 금능·협재 해변62

2. 하도리 해변68

3. 김녕 지역 암석해안73

4. 제주시 탐동 매립지76

제5장 결론81

참고문헌84

Abstract89

표 목 차

〈표 1-1〉 사질 해안의 완충 기능에 관한 연구	9
〈표 1-2〉 해안림의 방재 효과 실험 결과	10
〈표 2-1〉 제주도 풍수재난발생 기록(1973년~2012년)	20
〈표 2-2〉 제주도 재해위험지구 개수	22
〈표 2-3〉 해수면 상승 적응 방안	25
〈표 2-4〉 해수면상승 적응 방안	29
〈표 3-1〉 연안형태 별 연안육역의 공간 구성 분류	36
〈표 3-2〉 사질해안 분석 기호	40
〈표 3-3〉 제주도 사질해안의 연안 육역범위 구성 그래프(%)	42
〈표 3-4〉 중문, 광치기, 사계 해변의 전경	43
〈표 3-5〉 제주도 해안사구의 보존 현황	46
〈표 3-6〉 지수 등급별 해안선길이(km)	49
〈표 3-7〉 높은 해일이 예상되는 암석해안인 김녕과 표선 지역	50
〈표 3-8〉 해변의 반경 1km 이내에 건설된 연안 인공 축조물	52
〈표 3-9〉 제주도 매립지	54
〈표 3-10〉 제주시 탑동의 해안 피해 모습	55
〈표 3-11〉 제주시 탑동 해안 피해 모습	56
〈표 4-1〉 침수심 구분 색상 범례	59
〈표 4-2〉 금능·협재 해변의 전경	62
〈표 4-3〉 금능·협재 해변의 토지구성표	64
〈표 4-4〉 금능·협재 해변	64
〈표 4-5〉 함덕 해변의 전경	67
〈표 4-6〉 하도리 해변과 습지 사이에 위치한 다리	70
〈표 4-7〉 하도리 해변의 토지구성표	71
〈표 4-8〉 제주시 탑동의 전경	77

그림 목 차

〈그림 1-1〉 연구 대상지	5
〈그림 2-1〉 연안 저지대에 밀집해있는 제주도의 도시 기능	12
〈그림 2-2〉 해안일주도로와 주요 관광지	13
〈그림 2-3〉 제주 올레길	14
〈그림 2-4〉 꽃자왈 분포도	16
〈그림 2-5〉 1839년과 1993년의 미시시피 강 하구(루이지애나 지역)의 육지 면적 비교	18
〈그림 2-6〉 해수면 상승에 따른 영향	19
〈그림 2-7〉 협재 해수욕장의 전경	22
〈그림 2-8〉 제주도 기후변화 대응 홍보관의 전시내용	23
〈그림 2-9〉 사질해안의 방재 시스템	27
〈그림 2-10〉 도시 내 불투수층 비율에 따른 유출수량	28
〈그림 2-11〉 태안 바람아래 해변의 용벽절거 전과 후	30
〈그림 2-12〉 네덜란드 호로닝언 지역의 진출 전략도	32
〈그림 3-1〉 사질해안의 분포	39
〈그림 3-2〉 해변 지명	40
〈그림 3-3〉 사질해안의 배후지 구성 분석 방법	41
〈그림 3-4〉 제주도 해수욕장의 단면과 연안재해발생 시 영향 모식도	45
〈그림 3-5〉 김녕성세기해변의 해안도로와 진입계단	46
〈그림 3-6〉 암석해안의 분포	47
〈그림 3-7〉 암석 해안 중 개발지의 모식도	48
〈그림 3-8〉 제주도의 연안재해노출지수도	49
〈그림 3-9〉 인공해안의 분포	51
〈그림 3-10〉 제주항의 모식도	52
〈그림 3-11〉 모슬포 항 축조(1986) 후 하모해변의 해안선의 변화	53
〈그림 3-12〉 2006년부터 2012년까지의 제주도 침수 피해 지역	55
〈그림 4-1〉 대상지 항공사진	63
〈그림 4-2〉 금능 협재 해변의 전경	64
〈그림 4-3〉 금능해변의 현재 전경과 연안완충공간 형성 시 전경	65
〈그림 4-4〉 금능·협재 해변의 계획안	66
〈그림 4-5〉 대상지 항공사진	69
〈그림 4-6〉 현재 하도리 지역의 전경	69
〈그림 4-7〉 하도리 해변의 계획안	72

〈그림 4-8〉 대상지 항공사진	73
〈그림 4-9〉 김녕 지역의 계획안	75
〈그림 4-10〉 제주시 탐동 재해위험지구와 상습침수구역	76
〈그림 4-11〉 현재 제주시 탐동 매립지 전경	76
〈그림 4-12〉 제주시 탐동 매립지 계획안	79
〈그림 4-13〉 계단형 친수공간	79

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

기후변화에 따른 해수면상승 현상은 여러 물리적 외력의 변화를 유발하여 세계 곳곳에서 가시화되고 있다. 이는 저지대 범람, 해안침식, 연안재해의 영향 증대를 야기하여 연안을 위협하고 있다. 그 중에서도 특히 토지의 면적에 비해 해안선이 차지하는 비율이 높은 섬의 연안 저지대는 그 지형적 특성으로 인해 해수면 상승의 영향에 더욱 취약하다.

이에 따라 범지구적 차원에서부터 국가적, 지역적 차원의 해수면 상승 대응방안 모색이 현대사회에 중요한 화두로 떠오르고 있다. 남태평양의 섬 키리바시의 경우 가속화 되는 해수면 상승의 피해를 예측하고, 재해가 일어나기 전에 피지에 땅을 구입하여 국민들을 이주시키는 방안을 택하였다.¹⁾ 이처럼 해수면상승으로 인해 피해가 높을 것으로 예상되는 지역은 환경, 사회, 경제에 알맞은 대응 방안을 시급히 마련해야 한다는 바를 시사한다.

제주도는 우리나라 섬 중 지역적 규모가 가장 크며, 우리나라 9개의 광역자치도 중 하나이다. 제주도는 화산섬이라는 지형 특성상 섬 가운데에 높은 산이 위치해있어 도시와 주요 기반시설들, 그리고 지역 경제에 중추 역할을 하는 관광의 기능이 연안 저지대에 위치하고 있다. 게다가 연안역의 개발이 계속해서 진행되고 있어 해수면 상승 현상과 그에 따른 연안재해 발생 시 섬 전체의 사회, 정치, 경제와 같은 주요 기능에 심각한 영향을 미치게 된다. 즉, 제주도는 해수면 상승 현상에 취약하다고 할 수 있다.

제주도 근해의 해수면은 세계 연평균 해수면 상승률보다 약 3배가량 높아²⁾ 그 취약성을 더욱 높이고 있다. 해수면 상승의 영향은 이미 가시화 되고 있는

1) 섬 키리바시의 경우 섬의 최고 해발고도가 5m이기 때문에 섬 전체가 범람할 위험이 매우 높아 피지에 땅을 구매하여 전 국민을 이주시키는 방안을 택하였다.

출처: 주애진, “남태평양 소국 키리바시- 나라 가라앉으니... 전 국민 이주,” 『동아닷컴』 (2012년 3월 13일), <http://news.donga.com/3/all/20120312/44718870/1>

2) 본 논문에서 제주특별자치도 검조소 중 제주 검조소의 관측 데이터(1964~2008)와 서귀포 검조소의 관측 데이터(1985~2008)의 평균 해면 데이터를 이용하여 해수면 상승률을 측정하였다.

출처: 이동욱, 부양수, 박경호, “기후변화에 따른 제주지역의 해수면상승 시나리오,” 『대한토목학회』, 2010년도 정기 학술대회 논문집, 2010, pp. 2008-11

데, 관광지인 용머리 해안 산책로는 잦은 침수로 인해 관광이 불가한 일수가 늘어나고 있으며, 해안침식으로 인한 모래 유실이 급속하게 진행되고 있어 이 또한 큰 문제가 되고 있다(최진희, 2008; 64). 이에 따라 제주도 연안에는 지역에 적합한 대응방안 모색이 시급하다.

해수면상승과 이에 따른 연안재해에 대비하는 보편적인 방안은 경성호안(hard protection) 건설이다.³⁾ 이는 육역과 해역 사이에 물리적인 독을 건설함으로써 옮기기 어려운 시설이나 밀도 높은 지역을 효과적으로 보호한다. 하지만 점차 빠르게 증가하는 해수면 상승률은 기존의 방재 시스템의 역량을 넘어서고 있다.⁴⁾ 특히, 제주도와 같이 생태적인 가치가 높고, 지역의 주요산업이 관광인 경우 계속해서 제방을 쌓아올리는 데 한계가 있다. 경성호안은 해역으로부터 육역까지 이루어지는 다양한 에너지교환 및 생태의 흐름을 막아 생태계 교란을 초래할 뿐 아니라 연안이 자연적으로 형성하고 있는 재해 완화의 기능, 즉, 연안의 회복력(Coastal Resilience)을 저해한다.

토목공학적인 연안 계획방안이 한계를 보이는 현대에, 연안의 지속가능성에 대한 논의는 사회에 중요한 사안으로 대두되었다. 이에 대한 연구는 다양한 분야에서 진행되고 있는데, 그 중 경관 생태학 분야에서는 경관요소가 에너지를 완충하거나 여과한다는 관점의 연구가 진행되어 왔다. 연안에서는 사질해안의 연안습지, 해안사구, 해안림, 암석해안의 파식대, 해식에 등의 지형적 경관요소가 에너지의 완충 기능을 가지고 있다. 이는 연안이 본래 갖추고 있는 재해 완화 기능의 바탕이며, 재해에의 회복력을 갖는 구조이다. 따라서 자연적 재해완화 방안은 지역적 특성에 따라 다르게 적용될 수 있으며, 이는 기존의 경성호안과 달리 생태적으로, 환경적으로 사회에 부정적인 영향을 미치지 않으며, 또 급변하는 기후변화 현상에 대해서도 적응력이 높다.

이에 본 연구에서는 제주도를 대상으로 하여 연안 지형을 분석하고, 취약

3) 최희정, “연안 레질리언스 강화를 위한 미국의 노력,” 『해양국토21』, 2009년 5월, p.30

4) “사회적 방재시스템이 발달하고 있음에도 홍수로 인한 피해액은 10년 단위로 3.2배씩 증가한다는 연구결과도 있다.”

출처: 김원, “유역종합치수대책의 추진현황과 과제,” 『국립방재연구소 추계 토론회 자료집』 (2004년 10월 26일), p.30., 육근형 외, “연안완충공간의 보전 및 이용에 관한 연구: 해안림과 해안사구를 중심으로,” 『한국해양수산개발원』, 2008, p.2에서 재인용.

성을 알아본 뒤, 지역에 적합한 연안 완충공간을 계획하고자 한다. 연안 완충 공간이란 기존 경성호안(hard protection)에 대응하는 개념이며, 자연 경관 요소를 활용한 재해 완화 계획이라고 정의한다. 이는 현재의 연안 관리 방식인 경성 구조물 축조 방식에서 나아가 생태적 연성 방재 방안의 필요성을 조명하고, 제주도에의 적용 가능성을 밝힌다는 데에 의의가 있다. 이는 조경분야에서 주요하게 다루어야 할 기후변화 대응 방안 중 하나이다.

제주도에서는 기후변화에 대한 심각성을 깨닫고, 이에 대응하기 위한 움직임이 보이고 있다. 2007년 '기후변화시범도'로 지정된 이후 탄소배출 저감을 위한 연구, 계획 및 사업을 시행했으며 최근 「제주특별자치도 기후변화적응 대책 세부시행계획(2012-2016)」을 수립하였다. 또한 제주도는 생태관광을 키워드로 하여 섬 전체를 하나의 생태계로 보고 세계의 으뜸가는 생태수도를 지향하고 있어 제주도에는 환경 친화적인 대응 방안이 요구되고 있다. 하지만 해수면 상승 및 도시홍수에 대응하는 완충공간 계획은 아직 이루어지고 있지 않아 이에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구의 목적은 첫째, 재해의 영향을 완충하는 연안의 자연 지형에 대해 분석하고, 연안완충공간이 제주도에 적합한 재해 대응 방안인가에 대해 고찰하고, 취약한 제주도 연안에 연안완충공간을 계획하는 것이 목적이다. 이를 위해 제주도 연안의 취약성을 조사하기 위해 연안육역 범위의 개발 상태와 지형을 조사하고, 배후지의 투수층과 불투수층 구성을 조사한다. 또한, 과거의 재해 발생 이력과 미래의 해수면 상승의 영향에 대해 고찰한다.

둘째, 이러한 계획이 방재의 기능 뿐 아니라 생태적, 경제적, 경관적 이점을 갖출 수 있도록 제안하는 것이다. 이에 해당되는 국제적 연구내용과 계획된 지역을 예시로 소개하고, 대상지의 경제적, 생태적 기능을 정리한 후 이를 고려하여 방재 계획을 제안한다. 이러한 계획방안을 지형의 유형 별로 구분하여 제시하고자 한다.

제2절 연구의 범위

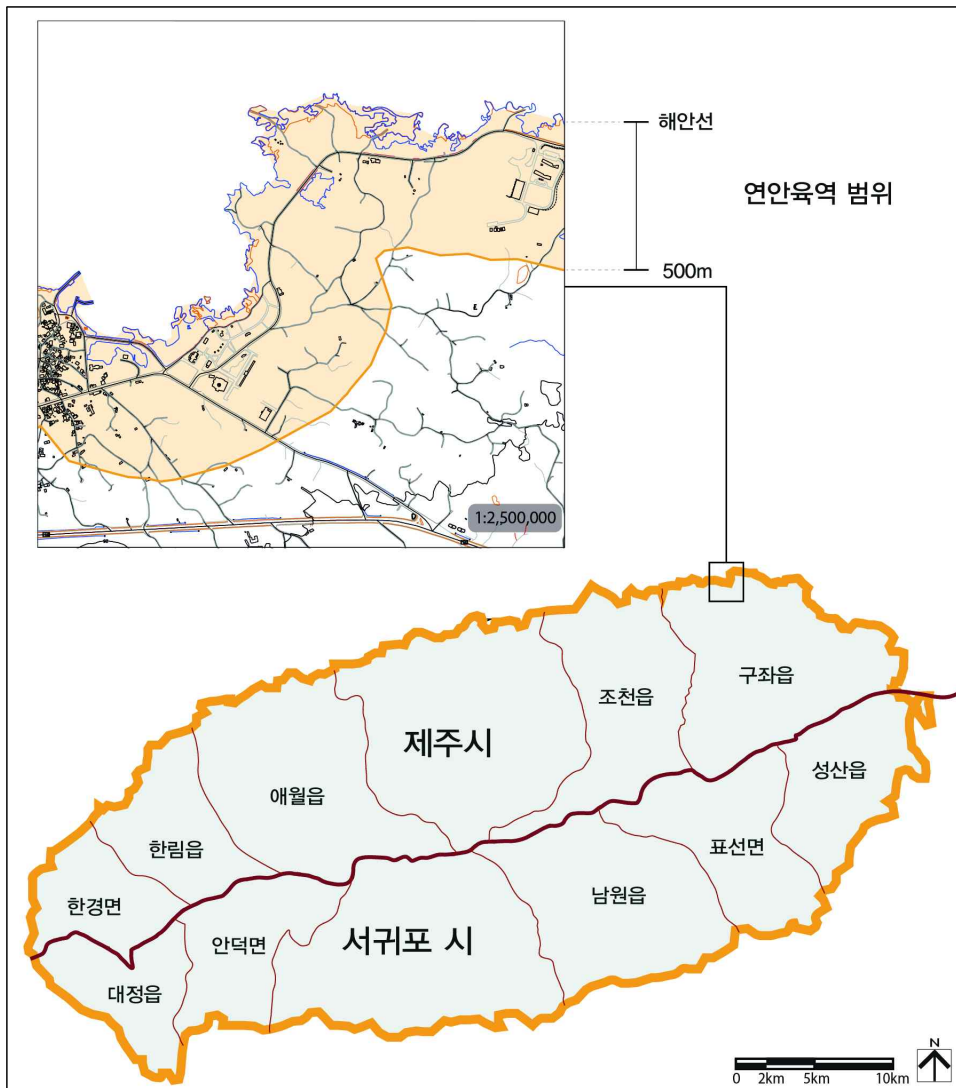
1. 공간 범위

본 논문의 공간적 범위는 제주도 육지섬의 연안육역이다. 제주도(濟州道)의 공식 명칭은 제주특별자치도이며, 우리나라의 9개의 광역자치단체 중 하나이다. 행정시는 제주시이고, 면적은 1,849.30km²로 서울의 3배에 해당한다. 제주도의 면적은 국내의 1.8%밖에 되지 않지만 풍수해 발생빈도는 가장 높으며, 재해복구비용은 국내 6위를 차지하는 재해 취약지역이다.⁵⁾ 제주도는 하나의 육지섬과 79개의 도서로 이루어져 있다. 이 중 71개가 무인도에 해당한다. 제주도의 총 해안선 길이는 530km에 해당하며 제주도 육지섬의 해안선 길이는 420km이다.⁶⁾

본 논문에서는 제주도 육지섬에 한정하여 기술한다. 우리나라 연안관리법(1999)에서 정하고 있는 해안의 범위는 무인도서와 연안해역의 육지지역부분 경계선으로부터 500m 범위 안의 육지지역이므로 해당범위 내의 지역을 세부 대상지로 정한다<그림 1-1>.

5) 소방방재청, “2012년 재해연보,” 2012, 103p.

6) 제주특별자치도, “2012년 통계연보,” 2012.



<그림 1-1> 연구 대상지

2. 내용의 범위 및 용어정리

본 논문에서는 자연의 회복력을 이용하여 재해의 영향을 완충하는 자연 연안 공간계획을 목적으로 한다. 이는 국제사회에서 논의하는 ‘Soft Protection’의 개념과 상통하며, 국내에서 사용되는 용어 중 육근형 외(2008)의 연구에서 제안한 ‘연안완충공간’의 용어와 가장 유사하다. ‘연안완충공간’이란 ‘생태적 연성(軟性) 연안관리방식’으로, 바다와 육지 사이의 상호작용을 완충하는 공간을 의미한다(육근형 외, 2008: 16-23). 이에 따라 본 논문에서는 ‘연안완충공간’과 ‘Soft Protection’이라는 용어를 동의어로 사용한다.

재해의 영향을 완충하는 효과는 지형의 형태 및 구성에 따라 다르기에 지형적 구분에 따라 계획안을 제시하며, 본 논문은 김태호(2003)의 연구에서 제안한 제주도 해안지대의 지형 분류기준 중 1차 분류 방안을 적용하였다. 이는 지형의 형성과정과 구성 물질을 기준으로 구분한 것으로 해안을 사질해안, 암석해안, 인공해안 3가지로 분류하였다.

본 논문에서 연안재해 및 풍수해라고 정의하는 현상은 일상적인 해안침식과 해수면 상승 현상을 포함한 비일상적인 태풍, 해일, 범람, 강풍의 피해를 의미한다. 해수면 상승에 의한 재해는 해수면의 높이가 상승함에 따라 일어날 수 있는 연안육역 부분의 손실 뿐 아니라 기존 연안재해 및 풍수해의 영향이 증대되는 것을 포함한다.

제3절 연구 방법

연구의 방법은 크게 네 부분으로 나눌 수 있다. 문헌고찰, 현장답사, 공무원 인터뷰, 지도 분석이 가장 주요한 연구 방법이다.

문헌고찰로는 연안의 회복력(Coastal Resilience)에 대한 정의와 연안의 지형별 재해완화 기능에 관한 국내외 논문을 수집하여 정리하였다. 이러한 기능을 이용하여 공간 계획을 제시하기 위해 해수면 상승에 적응하는 공간계획에 관한 학술지, 연구 논문, 연구 보고서를 참고하였다.

대상지의 자연재해에의 취약성을 조사하기 위해 재난 통계와 연안 침수 흔적도, 제주의 해수면 상승 관련 언론 및 신문 기사를 정리하였다. 해수면 상승으로 인한 대상지의 취약성은 국토해양부 국립해양조사원(2012)에서 발간한 보고서의 조사 자료를 참고하였으며, 대상지에 예측되는 범람 영향은 국립해양조사원에서 2010년부터 2012년까지 작성한 해안 침수 예상도를 참고하였다. 이를 통해 자연 연안 완충공간 계획 조성을 위한 이론적 토대를 마련하였다.

대상지는 2013년 9월 5일-6일, 10월 17일-18일, 11월 13일-15일에 방문하였다. 9월 5일에는 아시아 기후변화교육센터 및 기후변화홍보관을 방문하여 해수면 상승에 따라 대상지에서 가시화되고 있는 피해에 대해 조사하였다. 9월 6일에는 제주특별자치도 구좌읍사무소를 방문하여 공무원과 인터뷰를 진행하였으며, 제주특별자치도청 세계환경수도추진본부와 해양수산국을 방문하여 공무원과 인터뷰를 수행하였다. 해수면 상승에 대응하는 제주도의 공간 계획방안의 연구 진행 여부와 해안침식 현황 및 대상지의 취약점에 대해 질문하였고, 인터뷰를 통해 대상지의 취약성 및 연구의 필요성을 정립하였다.

10월과 11월에는 총 5번에 걸쳐 제주도 전체 연안 육역 범위를 방문하였다. 현장 답사 시 연안의 지형을 관찰하고, 사질 해안, 암석해안, 인공해안의 위치를 각각 구분하여 기록하였으며, 사진 촬영을 통해 연안육역 범위내의 투수층과 불투수층의 구성 순서와 범위를 기록하였다.

본 논문을 위해 제주도 연안육역범위의 지형도를 참고하였는데, 국토지리정보원에서 2013년 8월부터 10월에 제작한 1:25,000 축적의 GRS 80 지형도 15개를 사용하였다. 지형도에 현장답사를 통해 기록한 정보를 표기하여 사질해

안의 해안에서 500m 이내에 있는 투수층으로 구분되는 사빈, 해안사구, 해안림, 기타 녹지와 불투수층으로 구분되는 도로와 상업지, 주거지의 넓이를 추출하였다. 해안사구의 위치는 오승환 외(2008)의 논문을 참고하였으며, 이외의 불투수층 및 기타 투수층의 위치는 직접 조사하였다.

제4절 선행연구 고찰

연안의 지형적 요소가 본래 지니는 재해 완화 기능을 이용한 계획에 관한 논문은 많지 않으며, 특히 구체적인 대상지를 선정하여 대상지의 환경적 여건을 고려한 연구는 아직 시초단계에 있다. 이에 따라 본 연구를 진행하기 위해 연안의 방재능력에 관한 선행연구를 고찰하여 자연 연안의 회복력에 대해 검증하였다.

1. 연안의 방재 기능에 대한 연구

연안을 완충공간이라는 관점으로 그 현황과 기능을 연구한 연구는 1930년대부터 진행되어 왔으며, 국내 보다는 국외에서 더욱 활발하게 행해졌다. 국내 연구의 경우 사빈 연안의 지형적인 구분에 따라 모래사장, 해안사구, 해안림 등에 관한 연구는 개별적으로 이루어졌다. 하지만 이러한 공간이 해양에너지의 충격을 완화하는 완충공간이라는 관점에서 해석했다기보다 지형의 형성요인과 형태적 특징을 밝히는 연구가 주를 이룬다(육근형 외, 2008: 10).

대부분이 실험 및 현장조사를 통해 재해에 어떠한 효과를 갖는지에 대해 연구하였다. 앞서 언급한 바와 같이 암석해안은 그 자체로 방재의 효과가 탁월하여 암석해안이 갖는 완충 기능에 대한 연구는 이루어지지 않은 반면, 사질해안에 대한 연구는 다소 진행되어있다. 인공해안의 경우 이미 연안이 콘크리트와 같은 불투수 재질로 경성화 되어있기 때문에 투수층을 넓히는 방안, 토지이용을 바꾸는 방안 외에는 경제적으로 실행하기 불가능하다. 계획을 위하여 사질해안의 구성 요소인 연안습지(초지), 해안사구, 연안 숲의 완충기능에 대해 문헌을 고찰하였다.

<표 1-1> 사질 해안의 완충 기능에 관한 연구

구분	연구자 (연구년도)	인용 쪽수	명시된 완충 기능
모래사장 연안습지	Gedan et al. (2011)	11-12	<ul style="list-style-type: none"> - 식생을 통해 해수의 유속 저감 - 퇴적이 더욱 쉽게 되도록 함 - 해안침식 속도를 늦춰 토사 균형을 유지함
해안사구	최광희 외 (2012)	18	<ul style="list-style-type: none"> - 해안경관을 안정시킴 - 자연방파제로서 배후지를 방어함.
해안림	Harada and Imamura (2005)	2-3	<ul style="list-style-type: none"> - 태풍이나 해일로 인해 표류하는 물체들이 배후지 로 날아가지 않도록 방어 - 자연적 방재 벽 형성 - 파력 흡수 - 해일 에너지 저감 - 사구 형성에 도움을 줌 - 생태계 보호
	육근형 외 (2008)	32-41	방풍, 비사 방지, 비염 방지, 해일 영향 완화

방재의 역할을 위한 최소한의 연안습지 규모는 연구자들마다 밝히는 바가 다른데, 이는 지역의 환경과 식생에 따라 큰 차이를 보이기 때문이다. Shepard et al.(2011)은 연안 습지의 방재효과에 대해 연구한 논문 37편을 분석하여 각 논문에서 습지의 어떠한 물리적 요인이 방재효과에 영향을 미치는가를 밝혔다. 연구 결과 많은 논문이 습지 식생이 형성되어 있는 폭(width)과 식생의 밀도(density)와 관계가 높다고 분석하였다는 것을 밝혔다.

연안 숲에 있어서는 Harada and Imamura(2005)의 연구가 다양한 실험을 통해 방재 기능을 하기 위해 숲의 폭이 200m 이상 되어야 한다는 적정 규모를 도출하였다<표 1-2>. 연안 숲의 밀도가 30그루/100㎡이고, 지름이 0.15m인 성목으로 이루어져 있을 때, 해일의 강도와 해일고에 따라 얼마만큼의 회복력을 갖는지 실험을 하였다. 실험 결과 숲은 평균적으로 3m 이하 해일의 영향을 50%이상 감소시킨다고 밝혔다. 해일이 도시에 직접적으로 닥치게 되는 거리, 침수 깊이, 침수 시 물이 흐르는 속도 세 가지 요인 중 물이 흐르는 속도를 줄이는 데에 가장 탁월한 효과를 보였다.

<표 1-2> 해안림의 방재 효과 실험 결과

구분	연안숲의 폭	실험 결과
충격 완화	< 200m	조금 효과적임 (유출수, 침수 거리: 연안 숲이 존재하지 않을 때보다 10-30% 저감)
	> 200m	효과적임 (유출수, 침수 거리: 연안 숲이 존재하지 않을 때보다 30-60% 저감)
피해 저감	< 200m	매우 효과적임 (유체력: 연안 숲이 존재하지 않을 때보다 50-70% 저감)
	> 200m	매우 효과적임 (유체력: 연안 숲이 존재하지 않을 때보다 60-100% 저감)

출처: Harada and Imamura, 앞에 든 논문, p.11

2. 연안의 지형요소를 활용한 연안완충공간에 관한 연구

연안의 지형요소가 기상 외력과 해양 에너지를 완충 또는 여과하는 기능을 갖고 있다고 알려져 있지만 이를 이용한 방재 계획에 대해서는 아직 많은 연구가 진행되지 않았다. 지형요소가 갖는 회복력 및 재해완화 기능에 대한 연구가 각 지형요소 별로 있었으나, 이들을 하나의 체계로 인식하여 연안의 완충공간이라는 총체적인 관점으로 접근하여 계획을 제안한 연구는 많지 않으며, 아직 경성 방재 방안에 대한 찬반 논의에 머물러 있는 경향이 있다(정주철 외, 2007: 6)

국내 연구 중 자연 연안의 완충역할에 대해 주목하고, 이에 대한 가치, 및 완충지대 조성 방안을 제시한 연구는 육근형 외(2008)의 연구와 남정호 외(2012)의 연구가 있다. 그 중 육근형 외(2008)의 연구에서는 해안사구, 해안림에 대해 생태적 가치 외에 방재적인 가치를 가진다고 분석하며 ‘연안완충공간’이라는 개념을 제시하였다는 데에 큰 의의가 있다. 해당 연구는 해안사구와 해안림에 한하여 연안완충공간에 대한 경제적 가치를 평가하고, 해당 공간을 보전 및 생태적 연성 연안관리 방안을 법제화/국가사업화 할 것을 제안하고 있다.

남정호 외(2012)의 연구에서는 연안을 자연 상태로 회복하여 지속가능한 연안 환경을 재생 및 복원할 수 있는 개념으로 ‘생태적 재개발’을 제시하였다.

해당 연구에서 제안한 연안해양의 생태적 디자인 개념은 ‘기존 연안·해양환경의 유지와 보전, 그리고 해당 생태계를 포함한 환경의 자연적 본연의 모습에 충실하면서, 연안·해양의 지속가능성과 그로 인한 효용가치를 극대화시킬 수 있는 환경개발과 그 디자인’으로 정의할 수 있으며, 본 논문은 이 점을 지향한다. 연안도시가 생태적 기능을 회복할 때에 새로운 가치들이 창출된다는 점에 주목하였다는 것이 가장 주요한 점이다.

3. 본 논문의 차별성

연안의 방재 기능을 연안 지형에 따라 개별적으로 본 선행연구들과는 달리 본 연구에서는 연안의 사질해안과 암석해안, 그리고 인공해안을 모두 고려하여 해당 지형의 특성에 따라 환경 친화적으로 재해의 영향을 완화시킬 수 있는 방안을 연구하였다. 지역의 현황을 살펴 문제점을 도출하고, 이에 적합한 연안육역범위 내에 구체적인 계획을 제시하는 데에 의의가 있다.

본 논문은 기존 연구들과는 달리 법 제도 보다는 공간적 방안에 한정하여 계획을 제시한다. 기후변화 현상 중 해수면 상승의 영향을 고려하였으며, 과학적인 근거를 통해 기존에 조사된 취약지역을 선정하여 연안의 지형구성 현황과 분포를 고려하여 계획을 수립하였다.

제2장 제주도에서의 연안완충공간 계획의 적합성

제1절 제주도의 일반 사항

제주도는 지형 특성상⁷⁾ 도시와 주요 인프라스트럭처, 그리고 지역 경제에 가장 중추 역할을 하는 관광지는 대부분 표고 50m 이하의 해안지역에 위치해 있다<그림 2-1>. 해당 기능들은 제주도의 가장 주요한 도로인 해안일주도로 주변에 분포하고 있어, 연안재해 발생 시 제주도의 사회, 정치, 경제 등 주요 기능에 영향을 미치게 된다고 할 수 있다. 즉, 제주도 연안의 취약성⁸⁾은 매우 높다.



<그림 2-1> 연안 저지대에 밀집해있는 제주도의 도시 기능

출처: 도시 기능: 제주특별자치도 (2010) 『2015 제주특별자치도 도시관리계획』, (제주특별자치도, 2010), p.27

표고: 제주특별자치도, 같은 책, p.20

공항, 항만 및 일주도로: 구글맵.

7) 표고 200m 이하의 지역이 54.7%의 비율을 차지하며 남한 최고봉인 한라산이 제주도 중심에 위치하고 있다.

출처: 제주특별자치도, 『2015 제주특별자치도 도시관리계획』 (제주특별자치도, 2010), p.20

8) 자연재해에의 취약성은 재해로부터 생길 수 있는 손실의 잠재적 노출 정도 및 확률로 의미가 통용되고 있어 기후민감도(취약성)의 증가는 곧 해당 지역의 피해 증가로 이어진다고 할 수 있다.

출처: 유가영, 김인애, 『기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안』 (한국환경정책평가연구원, 2008), p.10

2000년대 중반부터 제주도의 관광객이 압도적으로 증가하였는데, 올레길 조성이 관광객을 끌어들이는 데에 큰 역할을 하였다. ‘제주 올레12)’는 자연적인 트레킹 코스는 제주만의 자연 경관의 가치를 재조명한 관광코스이다. 대부분의 길은 해안가를 따라 걷도록 되어있다<그림 2-3>. 올레길은 제주도의 관광코스 중 가장 인기가 높으며, 올레길로 인해 제주도 관광의 트렌드가 바뀌었다. 올레길 이후로 제주도의 생태관광의 상품이 급증하였으며, 제주도의 이미지 또한 자연경관이 아름다운 섬, 치유의 섬으로 부각되기 시작하였다.



<그림 2-3> 제주 올레길

출처: (사)제주올레

올레길을 찾는 이들의 주된 목적은 ‘제주의 아름다운 경관 감상’¹²⁾으로, 방문객들이 제주도의 자연 경관에 높은 가치를 두고 있다는 것을 알 수 있다. 이들이 가장 많이 경험한 코스는 서귀포시 외돌개부터 월평 마을까지 이어지는 7코스(19.2%)로 조사되었다. 7코스는 다양한 해안경관을 경험할 수 있는 곳

12) ‘올레’란 좁은 골목을 뜻하는 제주 방언으로 집 대문에서부터 마을길까지 이어지는 길을 뜻한다. 올레길은 총 26개 코스로 각 코스의 거리는 가장 짧은 것은 5km이며, 가장 긴 것은 22.9km 정도이다. 2007년에 1코스 개장을 시작으로 2012년 11월에 마지막 구간 21코스가 형성되어 제주 섬 한 바퀴를 모두 걸어서 순회(350km)할 수 있게 되었다.

출처: (사)제주올레, “제주올레,” <http://www.jejuolle.org/>

13) 제주관광공사에서는 2010년 4월 2일부터 4월 30일까지 382명에게 제주 올레길의 이용에 대해 설문조사를 실시하였다. 이 중 ‘제주 올레길 걷기 여행이 주는 주된 매력’에 대해 32%의 관광객이 ‘제주의 아름다운 경관 감상’이라 가장 많이 응답하였으며, ‘사색과 정신적 안정’(16.5%), 건강관리(13.7%) 순으로 대답하였다.

출처: 제주관광공사, 『제주 올레길 이용객 실태조사 보고서』 (제주관광공사, 2010) 9p.

으로, 2위로 조사된 1코스(9.3%)와 3위인 7-1코스(8.3%)에 비해 확연히 높은 선호도를 보였다. 이를 통해 제주도 올레길을 찾는 이들 중 해안경관을 감상하기 위한 이용객이 가장 많다는 것을 알 수 있다.

2. 생태적 가치

제주도는 세계에서 최초로 유네스코(UNESCO) 자연과학분야에서 3관왕(2002년 생물권자연보전지역, 2007년 세계자연유산 등극, 2010년 세계지질공원 인증)을 받은 생태적 가치가 매우 높은 지역이다. 제주특별자치도 환경자산보전과에서는 제주도만의 수려하고 독특한 자연 자원을 보존하여 ‘세계환경수도’로 발돋움하고자 한다.¹⁴⁾ 이를 위해 지방정부는 섬 전역을 하나의 유기체로 보고, 자연 순화를 위한 잠재력 구현을 목표로 하고 있다. 이러한 관점에 비추어보면 연안은 그 자체로의 생태적 가치도 존재하지만, 섬 전체의 생태적인 순환을 돕는 역할을 한다.

연안은 해양생태계와 육지생태계가 접하는 곳으로 풍부한 생태계를 가지고 있는 곳이다. 그 중에서도 ‘곶자왈(Gotjawal)’¹⁵⁾은 제주도의 현무암질 용암으로 인해 형성된 숲으로 생태가치가 매우 높은 곳으로, 연안에 접한 곶자왈은 제주도에서만 볼 수 있는 생태 축이라 할 수 있다. 곶자왈은 제주도 해안사구¹⁶⁾ 중 광지해수욕장, 사계리 해안, 성산일출봉 해안, 화순해수욕장, 금능·협재 해수욕장과 지형적으로 연결이 되어 있다<그림 2-4>.

14) 세계환경수도란 생태도시 가운데 모범이 되는 도시를 의미하며 ‘환경적으로 지속가능한 도시, 인간과 자연이 공존하는 생태도시’로 정의하고 있다.

출처: 제주특별자치도 환경자산보전관리과, 『세계환경수도 조성 기본계획』 (제주특별자치도 환경자산보전관리과, 2011), p.3

15) 한라산 중산간을 거쳐 해안선까지 분포하며, 북방한계 식물과 남방한계 식물이 공존하는 세계 유일의 독특한 숲이다.

출처: 국립민속박물관, 『2007 제주민속문화의 해 : 제주민속조사보고서-제주의 민속문화④ <제주 곶자왈>』 (국립민속박물관, 2007), p.38

16) 제주도의 해안사구는 10개소(광지해수욕장, 광치기 해안, 사계리 해안, 성산일출봉 해안, 신산포구, 신양섭지코지해수욕장, 중문해수욕장, 표선해수욕장, 화순해수욕장, 금능·협재해수욕장)이다.

출처: 오승환, 김혁진. “남해안 및 제주도 일대 해안사구의 자원식물상,” 『韓資植誌』, 21(5), 2008, pp.375-6



<그림 2-4> 꽃자왈 분포도

출처: 꽃자왈공유화재단.

제2절 경성 호안(Hard Protection)

제주도의 도시와 촌락은 섬 전체에서 차지하는 면적은 적지만 이들은 대부분 연안에 형성되어 있으며 항구, 제방 등으로 경성화 되어 있다. 경성호안(Hard Protection)이란 옹벽이나 제방, 방조제, 댐과 같이 인공구조물이 설치된 인공해안을 의미한다. 연안의 이용도가 증가함에 따라 간척과 매립 등 개발이 이루어지면서 도시, 산업단지 및 관광지를 보호하기 위해 경성호안이 건설되었으며, 이는 연안재해에 대비하는 보편적인 방안이 되었다. 경성 호안은 항구 및 발전소 등 배후지로 옮기기 힘든 도시 내 주요한 시설을 보호하는 데에 효과적인 방안이다. 또한, 오랫동안 연구되어온 방재 방안이기 때문에 각 지역의 해안 환경에 적합한 형태, 재질 등으로 설계하기 용이하다.

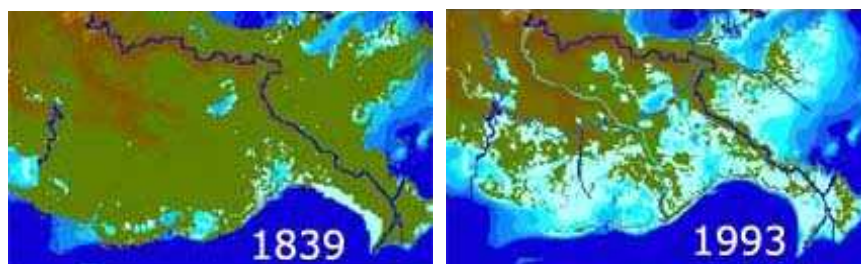
하지만 기후변화라는 전 지구적 현상이 발생함에 따라 해수면의 높이가 상승하고, 이에 따라 해양 에너지가 증가하여 월파하거나 제방을 손상시키게 된다. 이는 곧 호안의 유지·보수비용을 증가시키고, 제방이 파손되었을 시 배후지에 부가적인 피해를 입힐 수 있다. 뿐만 아니라 일정 높이 이상의 제방은 바다로의 접근성을 낮추고, 시각적인 차폐를 일으킨다는 등의 한계점을 보이고 있다. 뿐만 아니라 육지에서부터 바다로 이어지는 생태축을 단절시켜 환경적인 측면에서 부작용을 낳고 있다. 경성 호안이 가진 한계에 대해 자세히 고찰해보고자 한다.

1. 연안 생태계 교란

인공 구조물은 어류의 이동을 방해하고, 해양 동식물의 서식지를 빼앗아 생태계를 교란시킨다. 대표적인 예로 미국 오레곤(Oregon)주의 댐 건설로 인한 변화를 들 수 있다. 강하류의 마못(Marmot)댐으로 인해 오레곤주의 특산물이었던 연어가 ‘멸종위기종’으로 지정이 되고, 강 상류 155km 유역의 야생동물의 수가 급격히 감소하는 등 생태적인 부작용이 일어났다.¹⁷⁾

17) 양영석, “연간 66억짜리 수익 댐, 고작 연어 때문에 허물어?-댐의 해체와 인공 홍수, 그리고 패러다임의 변화,” 『오마이뉴스』 (2008년 6월 19일), http://www.ohmynews.com/NWS_Web/view/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0000926668

인공물이 설치된 사구의 침식은 매우 심각한데, 미국 서부의 미시시피(Mississippi) 강 유역을 예로 들 수 있다. 산악지역에서 발원하여 굽은 토사를 운반하던 미시시피강의 지류 미주리(Missouri)강의 토사는 댐과 제방을 설치한(1950년대) 후 급격히 감소하여 강 하구에 위치한 루이지애나(Louisiana)주의 육지 침식으로 이어졌다. 1932년부터 2000년까지 루이지애나는 4,860km²(경기도 면적의 절반 정도)의 육지를 잃었다<그림 2-5>.¹⁸⁾ 이에 따라 해당 지역에 서식하던 어류, 갑각류, 조류 등의 동물과 식물은 서식지를 잃게 되었다.



<그림 2-5> 1839년과 1993년의 미시시피 강 하구(루이지애나 지역)의 육지 면적 비교
출처: Microbewiki.

2. 해수면 상승의 영향

기후변화는 현대 사회에 가장 큰 화두로 떠오르고 있는 현상이다. 해수면 상승은 연안저지대 및 습지의 범람, 해안침식 심화, 강이나 지하수로의 해수유입, 강 수위 증가 및 범람, 조석 및 파랑 변화 등 잠재적 영향이 광범위하게 예측되고 있으며<그림 2-6>, 이는 이미 가시화되어 연안을 위협하고 있다. 전 지구적 차원에서 기후변화와 관련된 위험을 규명하고 국제적 대책을 마련하는 국제기구 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)¹⁹⁾는 기후변화 중

18) 같은 보도 자료.

19) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 ‘기후변화에 관한 정부 간 패널’로 기후변화의 원인 규명, 미래 영향 예측, 국제적 대책을 모색하는 국제기구이다. 1988년 결성되었으며, 각국의 기상학자, 해양학자, 빙하 전문가, 경제학자 등 3천여 명의 전문가로 구성되어 있다. 본부는 스위스 제네바에 있으며, UN 산하 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립하였다. IPCC는 기후변화와 관련된 기구 중 가장 권위가 높은 기관이며, 공로가 높아 2007년 노벨 평화상을 수상하였다.

출처: IPCC, “Intergovernmental Panel on Climate Change,” <http://www.ipcc.ch/> (검색일: 2013년 10월 23일)

인간사회에 가장 큰 악영향을 줄 수 있는 요소로 해수면 상승을 꼽았다.



<그림 2-6> 해수면 상승에 따른 영향

출처: Isobe(2011), 조광우 외, 앞에 든 논문, p.112 에서 재인용 한 것을 바탕으로 재구성

국립해양조사원(2010)에서는 제주도의 연평균 해수면 상승률은 5.54mm/yr로 세계평균 해수면 상승률(1.8mm/yr)의 3배를 상회한다고 밝혔다.²⁰⁾ 이는 33개소의 검조소를 통하여 1980~2009년까지의 기압 보정 전 평균 조위를 조사한 결과이다. 지구온난화로 인해 기온이 상승하여 빙하가 녹아 수량이 증가하고, 수온이 상승하여 해수의 부피가 증가하여 제주도 근해로 유입되는 쿠로시오 해류의 유량에 영향을 미치고 있기 때문에 제주도 근해의 해수면 상승률이 높은 것으로 예측되고 있다.²¹⁾ 해수면 상승 현상으로 인해 예측되는 제주도의 피해는 다음과 같다.

1) 풍수해 피해의 증대

기온상승으로 인해 대류활동이 활발해지고, 기온상승으로 인한 해수면 상승은 공기 중 수분 밀도를 높인다. 이로 인해 풍수해의 발생 빈도와 강도를

20) 조광우, 노백호, 강정은, 민동기, 육근형, 황진환, 이해미, Nobuoka, 『국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 I』 (한국환경정책평가연구원, 2011), p.97에서 재인용

21) 국립해양조사원, “국립해양조사원 우리나라 주변해역 해수면 변동 분석결과 발표,” <http://www.khoa.go.kr/basic/notice/view.asp?sgrp=A01&siteCmsCd=CM0892&topCmsCd=CM0893&cmsCd=CM0897&ntNo=1416&dvsNkWrD=&emgYn=&src=&srcTemp=&currPg=9&pnum=1&cnum=3> (검색일: 2013년 9월 8일)

더욱 증가시키며, 이는 기존 경성호안의 방재 역량을 넘어설 수 있다. 그 잠재적 위험은 예측이 매우 어렵기에, 경성호안의 방안만으로는 재해의 피해를 효과적으로 완화시킬 수 없다.

대상지 제주도의 경우 최근 30년(1973-2012년)동안의 제주도 풍수재난발생 기록에 의하면 총 116회의 재난이 발생했으며, 태풍의 발생이 54회로 가장 많았다<표 2-1>. 지리적 위치 상 태풍의 길목에 위치하여 매년 태풍의 피해를 심각하게 겪고 있는데, 2003년부터 2012년까지 10년간 지방별 태풍 횟수는 제주특별자치도가 43회로 가장 많다. 대표적인 피해로 불리는 태풍 루사(2002)와 매미(2003)로 인해 총 386억 원의 피해를 입었으며²²⁾ 태풍의 피해는 날로 거세져 2012년 태풍 블라벤과 덴빈으로 인한 피해액은 570억 원을 상회한다.²³⁾

<표 2-1> 제주도 풍수재난발생 기록(1973년~2012년)

	태풍	호우	폭풍	대설	강풍	풍랑	계
발생빈도 (회)	54	39	12	6	4	1	116
인명피해 (명)	115	13	30	3	-	-	161
재산피해 (백만 원)	371,715	23,944	1,549	16,870	360	156	414,594

출처: 소방방재청, 앞에 든 자료, 재구성.

파력과 풍력의 작용으로 인해 야기될 수 있는 직접적인 피해는 해안침식과 구조물 파괴로 나누어볼 수 있다. 먼저 구조물 파괴는 항만매몰, 건축물 및 도로의 파괴의 예로 구체화 될 수 있는데, 그 자체의 피해도 존재하지만 잔해로 인한 직·간접적인 피해도 큰 영향을 미친다. 도로가 파괴 되었을 경우, 이로 인한 교통사고와 교통체증, 잔해로 인한 자연녹지 및 건축물 파괴가 존재하며, 항만시설이 파괴되었을 경우, 시설 자체의 물리적 손해도 있지만, 항로를 이용

22) 양식장시설과 양식생물 약 206억 원, 해안시설 및 어항 108억 원, 해수욕장호안유실 51억 원, 어선파손 및 침몰 21억 원 등의 경제적 손해가 발생하였다.

출처: 소방방재청, 앞에 든 자료.

23) 2012년 재해로 인한 인명피해는 모두 18명이었으며 그 중 태풍으로 인한 피해는 87.5%(14명), 호우로 인한 피해는 12.5%(2명)이다. 경제적 피해는 1,089,201 백만 원이 발생했다. 발생 원인은 태풍(92.1%), 호우(3.4%), 강풍(2.5%),大雪(1.9%) 순으로 큰 비중을 차지한다. 공공시설의 피해는 전체의 59%(6,393억 원)로 가장 크며, 그 다음이 사유시설(3,999억 원, 37%), 주택(334억 원 3%), 농경지(128억 원, 1%)순으로 피해를 입었다.

출처: 같은 자료.

하지 못함으로서 야기되는 경제적 손실 또한 존재한다.²⁴⁾ 이에 대한 복구비용이 총 풍수해 재난 복구비용 중 가장 높은 비중을 차지한다.

2) 해안 침식 가속화

기존 인공구조물은 사구 지형회복에 가장 중요한 해류 및 토사의 흐름을 방해하여 사빈연안의 해안침식을 가속화시키는데, 해수면 상승 현상은 해양 에너지를 증가시켜 침식 현상을 더욱 악화시킨다. 침수와 구조물 파괴의 피해와 달리 해안침식은 기상조건이 양호한 날에도 이루어지며, 주변의 해안 지형 및 구조물의 여부가 침식률에 큰 영향을 미친다. 해안침식은 곧 해안사구의 침식으로 이어지기 때문에 곧, 연안생태계에도 중요한 문제이다.

해수면이 상승하는 속도²⁵⁾는 매우 점진적이지만 우리나라 사빈 연안 곳곳에서 해수면 상승에 따른 침식 현상이 증가하고 있는 것으로 밝혀졌다(해양수산부, 2003). 제주도의 해수욕장 12곳 모두, 매년 해수욕장 개장 전인 6월에 양빈사업을 시행하고 있다. 김녕성세기해변을 관리하는 행정기관(구좌읍사무소)에서는 침식으로 인해 유실된 모래 양 만큼 주변의 해안사구에서 가져와 궁극적으로는 해안사구의 모래 유실을 초래하고 있다(최진희, 2008: 66-7). 2007년 800t의 모래를 보충²⁶⁾했지만, 2012년과 2013년에는 4,000t의 모래²⁷⁾를 보충한 사실로 보아 해안침식률이 매우 빠르게 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 제주 지역의 도시구조를 와해시키고, 지역 경제와 관광 산업에 타격을 준다. 제주도에서는 해안침식을 방지하기 위해 대부분의 해변에 10월 말부터 다음해 6월까지 비닐을 덮어놓으며, 해수욕장 개장 중에도 해안침식의

24) 선 편(vessel)을 통해 제주도를 방문하는 입도객이 매년 증가하고 있다. 2011년 제주도 방문객 중 12.9%가 항구를 통해 입도하였다.

출처: 제주특별자치도, 앞에 든 통계자료.

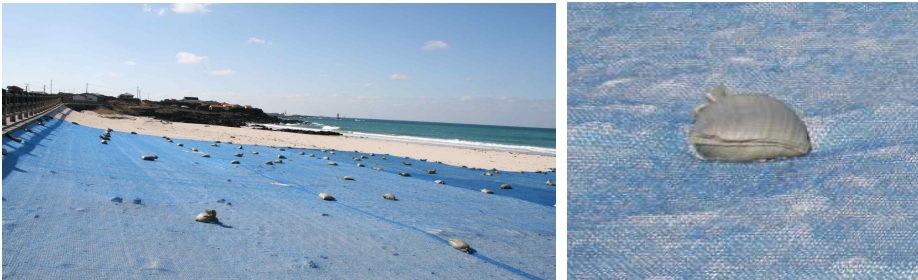
25) IPCC(2007)는 세계 평균 해수면 상승률이 1.8mm/yr라고 밝혔다. 이는 43년(1961-2003년)간의 자료를 조사한 결과이다.

출처: IPCC, "Climate change 2007: Working group I: The Physical Science Basis -Fourth Assessment Report," http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch5s5-5-2.html (검색일: 2014년 1월 12일)

26) 최진희, 앞에 든 논문, p. 67

27) 2013년 9월 6일 제주특별자치도 구좌읍의 행정기관인 구좌읍사무소를 방문하여 공무원과 인터뷰를 진행하였다. 구좌읍사무소의 담당자는 2012년과 2013년 2,000m³의 모래를 보충했다고 밝혔다. 사빈은 일반 규소의 무게와 같으므로 1,000m³의 모래 무게를 2t으로 계산하였다.

속도를 늦추기 위해 모래주머니를 해변 곳곳에 배치해놓는다<그림 2-7>.



<그림 2-7> 협재 해수욕장의 전경
출처: 2013년 11월 13일 촬영

3) 범람으로 인한 영구적인 염수의 침입

침수는 풍수해로 인한 가장 직접적인 피해의 형태라 할 수 있다. 범람은 지역민의 삶의 터전을 위협하며, 관광객 감소로 인한 지역 경제력 약화, 식량 생산력 저하, 건축물의 부식, 매개 전염균 확산 등의 2차 피해로 이어질 수 있다. 해수면 상승은 강의 상류 방향으로 더 많은 해수 유입이 가능하게 함으로써 해수가 식수 및 산업 용수로 쓰이는 물과 섞일 가능성이 높다. 해수면 상승으로 지하수면이 상승하게 되는 경우 담수층이 감소하게 되어 담수 이용도가 줄게 될 뿐 아니라 생태계의 변화를 유발한다.

만조 시 태풍과 호우가 발생하면 침수 발생률이 급격히 높아지는데, 1차적으로 가옥침수, 동산의 유실, 인명피해 등의 피해를 야기한다. 2차 피해로는 노후화 된 교통 신호등, 가로등으로 인한 감전사고, 해양 토사의 침범으로 인한 문제, 연안육역의 토양, 농작물 및 건축물의 염해 등이 있다. 이러한 위험에 따라 제주도는 총 64개의 지구를 재해위험지구로 선정하였다. 이 중 55개(85.9%)가 침수 위험 지구로 제주도의 침수 위험이 매우 높다는 것을 알 수 있다.²⁸⁾

28) 2013년 10월 기준으로 자연재해대책법 제 12조에 의거하여 제주특별자치도에 지정된 재해위험지구는 64개이다.

<표 2-2> 제주도 재해위험지구 개수

구분	침수위험지구	붕괴위험지구	해일위험지구	계
개	55	8	1	64

출처: 제주특별자치도 재난안전대책본부, "제주특별자치도 재해위험지구," <http://bangjae.jeju119>.

제주도 관광지도 침수 위험에 놓여 있다. 제주도에서 가장 오래된 화산체로 그 모양이 용머리 같다 하여 이름이 붙여진 용머리해안은 2011년 제주특별자치도 지정(법정) 관광지의 방문객 중 가장 많은 관광객이 찾는 곳이다.²⁹⁾ 이곳은 38년(1970-2007년)동안 해수면이 22.7cm 상승하여 1986년 만조 시에도 잠기지 않았던 용머리 해안의 탐방로는, 그때보다 다리를 높였지만 현재는 만조 때면 물속으로 침수되어 방문객 입장이 제한된다.³⁰⁾ 제주도의 심각한 해수면 상승률과 그 영향을 알리기 위해 제주특별자치도는 2011년 용머리해안의 입장로 앞에 기후변화 대응 홍보관을 건립하였다<그림 2-8>.



<그림 2-8> 제주도 기후변화 대응 홍보관의 전시내용

출처: 2013년 9월 5일 촬영

go.kr/s_info/info_06_01.php (검색일: 2013년 11월 16일)

29) 제주특별자치도 지정(법정) 관광지 16곳 중 2011년 방문객의 수가 집계된 곳은 5곳(봉개휴양림관광지, 제주돌문화공원, 용머리관광지, 미천굴관광지, 표선민속관광지)이다. 이 5개의 관광지를 찾은 관광객은 총 2,883명이며, 관광지 당 방문객은 용머리관광지(29%), 미천굴관광지(22%), 봉개휴양림관광지(21%), 표선민속관광지(17%), 제주돌문화공원(10%) 순으로 많다.

출처: 제주특별자치도, 앞에 든 통계자료.

30) 김용현, “해양생태계 급변 재앙이 밀려온다; 기후변화 중심의 제주, 위기서 기회 찾다,” 『제민일보』 (2012년 1월 29일), <http://www.jemin.com/news/articleView.html?idxno=279284>

제3절 연안완충공간의 개념정립

1. 연안의 회복력을 이용한 연안완충공간의 개념

연안완충공간의 개념을 정확하게 정의하기위하여 우선 해당 개념이 출현하게 된 배경을 살펴보고자 한다.

국제사회에서는 기존 방재대책에 대한 회의를 갖고 지속가능한 방재 방안을 모색하기 시작하였다. 연안은 자체적으로 기후 적응 시스템을 형성하고 있어 재해에 대한 탄력성(Resilience)이 매우 높은데, 이에 주목해 ‘Soft Protection’이란 개념이 출현하였다. 이는 기존의 경성호안(Hard protection)에 반대되는 방안으로 출현한 용어으로써 물리적 구조물이 아닌 기존 자연지형이 갖는 방재 기능에 주목한 방안이다. Davies(2011)는 ‘Soft Protection’을 자연 재해의 영향을 경감시키면서 동시에 연안의 생태계가 지속되도록 혹은 풍부해지도록 하는 방법³¹⁾이라 정의하였다.

‘Soft Protection’에 있어 가장 중요한 개념은 연안의 회복력(Coastal Resilience)이다. 회복력(Resilience)의 어떠한 자극으로 이후 다시 원래의 상태로 되돌아오는 능력 혹은 달라진 상태에 적응하는 특성으로 정의된다. 이에 따라 Resilience의 회복력, 탄력성 등으로 해석될 수 있으며 이는 분야와 연구에 따라 달리 사용된다. 회복력에 대한 개념은 1973년 Holling이 처음으로 소개하였고, 이를 ‘충격을 흡수(완충)하고 복구 불가능한 상태로 전환하는 것을 회피하고, 시스템 교란 후 이를 재건할 수 있는 능력’으로 정의하였다.³²⁾ 연안의 회복력(Coastal Resilience)이라 함은 기후변화와 같은 환경변화에 적응하고, 연안의 현 상태를 유지하고자 하는 특성을 일컫는다. 즉, 회복력이 높은 연안은 잠재적인 재해 위협으로 인한 생태적, 사회경제적 피해가 적으며, 급변하는 기후변화 현상에 적응력이 높아 사후 원상복귀의 능력이 탁월하다. 연안의 회복력은 기후변화라는 전 지구적 환경변화와 맞물려 2000년대 이후 크게 주목받고 있다.³³⁾

31) Davies, *Climate change and shoreline protection* (Canada: ACASA, 2011), p.17

32) 남정호, 육근형, 최희정, 정지호, 『기후변화 대응을 위한 연안지역 레질리언스(Resilience) 강화 방안: 기후변화 대응 연구』(한국해양수산개발원, 2009) pp.22-4

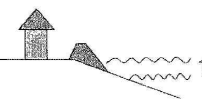
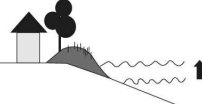
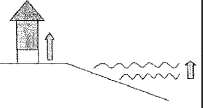
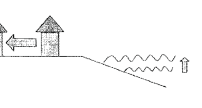
33) 최희정, 앞에 든 글, p.31

이는 Dronkers et al.(1990)의 연구에서 해수면 상승에 대한 대응방안으로 소개하면서 세계적으로 주목받기 시작하였다. 해당 연구는 1990년에 국제 사회에서 최초로 해수면 상승에 적응(Adaptation)할 수 있는 4가지 전략을 제안하였는데,³⁴⁾ 그 중 하나의 방안으로서 자연의 회복력을 이용한 Soft protection 방안을 구체적으로 제시한 것이다.

‘Soft Protection’은 연안의 자연완충지대 조성 및 회복에 한정된 방안이

34) Dronkers et al.(1990)이 제안한 해수면상승 적응 방안은 방어(protection), 순응(accommodation), 후퇴(retreat)로 구분할 수 있다. 각 전략의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-3> 해수면 상승 적응 방안

유형	방어		순응	이주
	구조적 방어	자연적 방어		
개념	 기술을 이용하여 지역을 지키는 방안	 자연지형을 조성하는 방재 방안	 자연환경에 대한 영향을 수용하면서 피해를 최소화하는 방안	 인간과 도시기능을 취약지대로부터 이주시키는 방안
예시	- 기존의 경성 호안 방안 (돌제, 둑, 방조제 건설 등)	- 연안 사빈 조성 - 양빈 - 사구 복원 - 연안 숲 조성	- 토지이용 변경 - 건축구조 변경 - 규제 및 보험제도 도입	- 예방적(proactive) 차원의 이주 - 재난의 피해를 받은 후의 이주
장점	- 해안선 보호를 위한 효과적인 공학적 대안	- 연안의 회복력 증대 - 해안침식 억제 - 경관의 다양화 - 생태적 이로움	- 기존 도시구조 유지 - 고밀 연안도시에서 유용한 방안	- 재해로 인한 인적, 경제적 피해를 최소화 할 수 있음
단점	- 기술적 한계 존재 - 생태적 부작용 - 경관 차폐 - 비싼 건설비, 유지보수비	- 고밀 개발된 지역의 워터프론트에 적용하기에는 막대한 비용 발생	- 다른 방안에 비해 재해에 대한 노출도가 높음	- 막대한 비용 발생 - 지역민들이 삶의 터전을 잃게 됨

출처: Dronkers, Gilbert, Butler, Carey, Campbell, James, McKenzie, Misdorp, Quin, Ries, Schroder, Spradley, Titus, Vallianos, Dadelszen, *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise, Report of the IPCC Coastal Zone Management Subgroup: Intergovernmental Panel on Climate Change*, (Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990), pp.6-12, 48-60과 Jung and Lee, Sustainable Flood Mitigation through Land Use Planning and Management, Journal of KOSHAM, 13(1), 2013, pp.361-3를 바탕으로 재구성

각 전략은 지역사회와 도시의 특성에 따라 복합적으로 적용될 수 있다. IPCC는 예상 피해의 정도(Urgent of Risk), 침수 예상 면적이 나라 면적에서 차지하는 비율(Proportion of National Land Area), 예상되는 인명 피해의 정도(Population Affected), 침수 예상 지역의 환경적 중요성(Environmental Importance), 경제적 중요성(Economic Importance), 문화적 중요성(Cultural Importance), 지역적 중요성(Regional Importance)에 따라 전략이 다르게 적용될 수 있다고 서술하였다.

출처: Dronkers et al., 같은 글, p. 23

지만 자연의 회복력에 대한 연구와 사회의 관심이 증진되면서 Soft protection은 단순히 자연 지형 복원 방안에 머무르지 않고, Davies(2011)가 정의한 바와 같이 자연의 회복력 및 특성을 이용하여 재해의 영향을 완충하기 위한 방재 방안을 지칭한다. 이에 따라 육근형 외(2008)에서 정의한 ‘연안완충공간’은 ‘Soft Protection’의 개념과 일맥상통한다 할 수 있다.

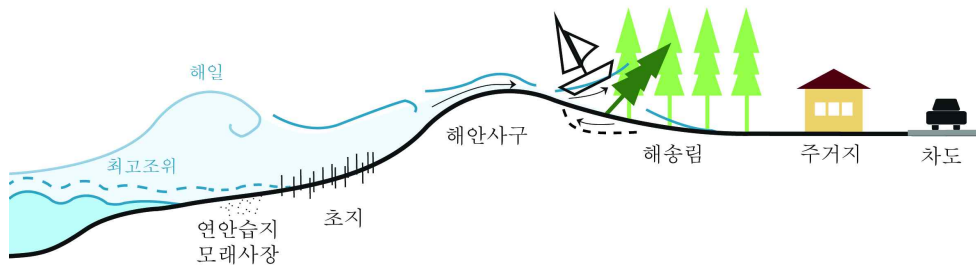
2. 지형에 따른 연안완충공간의 기능과 체계

연안 재해는 수문학적 에너지의 흐름을 바탕으로 하기 때문에, 육역에서 투수층이 그 수순환을 도와 에너지를 여과하는데 매우 중요한 역할을 한다. 암석 해안은 그 입자가 사질해안에 비해 단단하고 커서 해빈류, 파도, 바람 에너지를 적극적으로 제어한다.³⁵⁾ 투수력도 우수하여, 해수가 범람하거나 파도가 했을 시 유출수로 인한 연안재해의 2차 피해를 효과적으로 완화한다.

사질해안은 기본적으로 모래입자가 수순환을 원활하게 하기에 토사순환이 원활하게 이루어져야 사질해안의 전체적인 체계가 무너지지 않는다. 하지만 모래는 그 입자의 크기가 매우 작고 가벼워서 작은 에너지에도 민감하게 반응한다. 그에 따라 모래의 균형이 유지될 수 있는 시스템이 필요한데, 모래사장(연안습지)부터 시작해서 초지, 해안 사구, 해안림까지 이어졌을 때 토사의 동적인 상호작용이 원활하게 이루어져 하나의 체계로 작동하게 된다<그림 2-9>.

바다로 쓸려나가는 토사는 내륙으로 향하는 파도에 의해 다시 퇴적된다. 모래사장의 토사가 바람에 의해 내륙으로 날아갈 때, 그 입자를 배후지로 넘여가지 못하게 하여 해안사구에 표사가 계속 쌓일 수 있도록 돕는다. 해안사구에 일정 규모 이상의 모래가 쌓이면 모래는 다시 해변으로 돌아가 파도나 바람으로 인해 침식된 자리를 메워 균형이 무너지지 않도록 돕는다. 즉, 사질해안이 회복력을 갖게 하는 데에 있어 항상성을 증진시키는 역할을 한다고 할 수 있다.

35) 정진건, 해안관리의 문제점과 그 개선방안, 관동대학교 대학원 석사학위논문, 미간행, 2013, p. 47



<그림 2-9> 사질해안의 방재 시스템

출처: Harada and Imamura, 앞에 든 책, p.3 재구성

사질해안의 재해완화 기능은 <그림 2-9>와 같이 각 지형별 연계가 긴밀할 때 증대된다. 선행연구에서 도출한 연안 지형에 따른 재해 완충기능을 살펴보면 다음과 같다. 모래사장과 연안습지의 식생은 일상적인 파력을 상쇄시키고 표사를 응집시켜 사빈의 균형이 무너지지 않도록 도우며, 식물의 뿌리가 물을 흡수하여 연안 저지대의 침수를 지체시킨다. 습지 자체로의 방재효과와 해안침식 완화 기능은 미미하지만 배후 자연지역과의 연계를 통해 해수면 상승으로 인한 일상적 재해의 장·단기적인 영향에 높은 회복력을 갖는다. 비일상적인 재해에 대해서는 습지의 넓이에 비해 효과적으로 배후지를 방어하지 못해 촌락이나 작은 규모의 지역을 보호하는데 적합하며, 중요한 기반시설이나 밀도 높은 도시를 보호하기에는 차선의 방안으로 사용된다.³⁶⁾

사구는 지진해일(Tsunami) 및 폭풍해일(Storm surge) 등으로 인한 염해의 침범을 저지하고 효과적으로 파력을 상쇄시킨다. 해안사구는 사빈과 해안림 사이에 모래의 순환이 원활하게 이루어지도록 하는 매개공간이 된다. 해안림은 강력한 파도나 태풍, 해일 등으로 인해 해안의 어선이나 다른 시설물이 내륙으로 떠내려 오는 것을 저지하고, 파력 및 풍력 약화에 효과적이다.³⁷⁾ <표 1-2>에서 보이는 연구결과와 같이 해안림은 해일이 닦쳤을 때 내륙으로 해수가 흐르는 속도를 줄이는 데 매우 탁월한 역할을 하고 있어 주거 및 관광지와 같이 침수 시 인명피해의 가능성이 있는 배후지를 보호하는 데 있어 필요한 전략이라 사료된다.

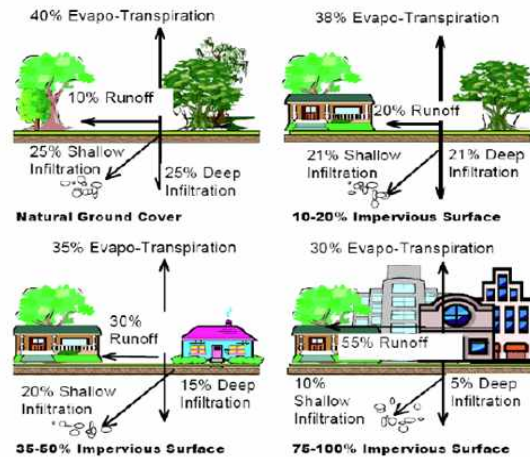
36) Gedan, Kirwan, Wolanski, Barbier, Silliman, 앞에 든 책, p.21

37) Harada and Imamura, 앞에 든 책, p.2

해안림은 인공 해안에서도 지역의 투수지 비율을 높여 유출수를 감소시키는 방재책으로 사용될 수 있다. 특히 사구를 형성하기 어려운 연안 저지대가 해일에 휩쓸리지 않기 위해서 적용할 수 있는 방안으로 혹은 예상 침수 면적이 넓지만 배후지에 도시 기능을 옮기기에 어려운 도시에 해송림을 조성할 수 있다. 하지만 방재 기능을 확보하기 위해서는 너비 200m 이상의 연안 숲 조성 공간이 확보되어야 한다.

3. 연안의 회복력을 높이기 위한 연안완충공간 계획 방안 고찰

불투수층은 풍수해가 일어날 경우 지역 내 유출수량을 일정 수준 이상 감소시키지 못해 앞서 언급한 침수, 도시 기반시설의 파괴, 침식의 피해와 그에 따른 2차 피해의 정도를 높인다<그림 2-10>. 뿐만 아니라 연안의 생태를 단절시켜 생물 종 다양성 감소와 같은 생태적 부작용을 야기하고 해안 경관의 획일화를 초래한다. 매립과 제방, 둑 건설 등으로 대표되는 연안개발은 불가피한 사회의 흐름이지만 재해의 영향과 생태적 부작용을 고려해야 한다.



<그림 2-10> 도시 내 불투수층 비율에 따른 유출수량

출처: California water&Land Use Partnership(2008), p.2

일부 지자체 및 환경단체에서는 연안완충공간 조성을 통해 생태적인 문제를 해결함과 동시에 연안 재해에의 피해를 저감하도록 노력해왔다. 이에 해당하는 여러 움직임들은 크게 5가지 방안으로 분류될 수 있으며, 이는 Dronkers

et al.(1990)의에서 제시한 해수면상승 적응 전략과 ICE(The Institution of Civil Engineers, 2010)의 해수면 상승 적응 방안 연구를 참고하여 분류하였다.

<표 2-4> 해수면상승 적응 방안

방어		순응	이주	진출
구조적 방어	자연적 방어			
<ul style="list-style-type: none"> - 구조물 설계 시 콘크리트 대신 돌이나 테트라포트(Tetrapode)와 같이 상대적으로 투수가 가능한 재료 사용 	<ul style="list-style-type: none"> - 해당 전략 자체가 연안의 회복력 증진에 기여함 	<ul style="list-style-type: none"> - 해수면 상승 취약 지역에 오픈스페이스 및 녹지 조성(투수층 증대) - 경성화된 강 하구를 자연적으로 조성 	<ul style="list-style-type: none"> - 해일의 위험이 높은 지역의 기능을 배후지로 이전 후 해당 지역에 자연적 방어 전략 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 인공섬 조성 - 인공 사빈 조성
				
출처: 2013년 11월 13일 촬영	출처: Wikipedia	출처: Weedist	출처: United Way of Long Island	출처: Joop van Houdt

출처: Dronkers et al., 앞에 든 글 pp.55-60과 Jung and Lee, 앞에 든 글, pp.361-3를 참고하여 재구성
구조적 방어의 내용과 진출의 내용은 필자의 견해

경성호안으로 알려진 구조적 방어 방안의 경우 콘크리트를 이용하여 해류의 흐름을 완전히 차단하는 방법보다 해양에너지가 제방 사이의 틈으로 일부 투과될 수 있는 테트라포트(Tetrapode) 및 암석을 이용하여 구조물을 쌓는 것이 그 예이다. 이러한 경우 이주시키기 힘든 도시기반시설에 대해 방어를 하면서도 해안 침식을 조금이나마 늦추며, 해양 생태계에의 부정적인 환경 부하를 줄일 수 있다. 하지만 기존 경성호안이 갖는 단점을 완전히 극복하기에는 어려움이 있다.

자연적 방어는 Dronkers et al.(1990)에서 제안한 Soft protection 방안에 근접하다. 이에 해당하는 대표적인 예는 해송림 조성, 양빈, 습지 복원 등이 있다. 환경부 국립공원관리공단에서는 제 2차 연안 정비 계획(2010~2019년)의 일환으로 2013년 7월 태안 바람아래해변의 해안 옹벽을 철거하고 자연사구로 복원하고자 하는 사업을 시행하였다.³⁸⁾ 사빈 침식 방지를 위해 설치했던 콘크리트 옹벽은 오히려 자연스러운 모래의 흐름을 가로막고 있으며, 멸종위기야생

38) 환경부, “환경부,” <http://www.me.go.kr> (검색일: 2013년 10월 23일)

생물 II 급인 표범장지뱀의 이동에도 장애가 되고 있어 철거하였다<그림 2-11>.³⁹⁾ 이곳을 둘러싸고 있는 옹벽 273m를 철거하고, 그 자리에 모래 포집기를 설치해 자연스러운 사구가 형성되도록 유도하였다. 모래 포집기는 대나무를 엮어 만들며 이는 바람에 날리는 표사가 자연스럽게 이에 걸려 쌓이도록 돕는 구조로, 기존 해안사구의 생태 시스템에서 연안 숲의 역할을 담당한다.



<그림 2-11> 태안 바람아래 해변의 옹벽철거 전과 후

출처: 신문웅, 같은 글.

이러한 방안은 장기적인 관점에서 재해의 영향을 완화시킬 뿐 아니라 지역의 식생을 통해 독특한 경관을 형성하여 관광자원으로서 지역 사회에 부가적인 경제적 소득을 창출할 수 있다.⁴⁰⁾ 특히 비도시 지역에 적용할 경우 자연 해안 조성비용은 제방 혹은 둑을 쌓았을 때의 비용, 재해 복구비용에 비해 매우 경제적이며, 인공 해안에 비해 시각적, 물리적 차폐율이 낮아 바다로의 접근성을 높인다. 하지만 고밀 개발된 연안도시의 경우, 연안은 대부분 항구 및 워터프론트로 개발되어 있기 때문에 자연 연안으로 조성하기에는 경제적으로, 기술적으로, 사회적으로 매우 어렵다.

순웅은 기존 도시 구조를 유지하면서 피해를 최소화 하는 방안으로 워터프론트의 녹지대 조성, 건축물 구조 변경 등을 예로 들 수 있다. 독일의 하펜시티(Hafencity)는 도시에 맞닿은 강의 수위가 하루에 3m 이상 변동하는 것에 유의하여 생태계 보존과 하천 접근성을 높이기 위해 경성호안 대신 두 가지 층위의 도시를 형성하였다. 하펜시티의 일부 지역은 대지면 보다 7.5m 이상의

39) 신문웅, “태안해안국립공원, 해안사구 2개소 복원,” 『태안신문』 (2013년 10월 17일), http://www.taeannews.co.kr/data/data_news.asp?titleid=26257

40) Gedan, Kirwan, Wolanski, Barbier, Silliman, 앞에 든 책, p.8

높이에 설계되었으며, 그 외의 지역은 강이 범람했을 때에 적응할 수 있도록 설계되었다.⁴¹⁾ 광장과 공원 등 외부 공간을 강변에 설계하고, 건물들은 부두에서 최소한 20m 이상 떨어지도록 규제하여 범람이 일어날 경우 피해가 최소화 되도록 하였다. 또한, 홍수를 견뎌낼 수 있도록 건축물들의 기반부는 가장 두꺼운 특수 유리나 나무로 된 방어막을 사용하여 설계된다.⁴²⁾

이주의 방안으로는 두 가지 예를 찾을 수 있다. 하나는 해수면이 상승함에 따라 육역의 범위가 감소하여 이주 방안을 택하는 것이다. 투발루와 키리바시와 같은 남태평양의 몇몇 섬들이 해발고도가 낮아 이주를 계획하고 있다. 두 번째는 연안 재해로 인해 이주방안을 택하는 것인데, 앞서 언급한 태풍 샌디(Sandy)의 타격 이후 미국 뉴욕의 북동부 연안지역을 자연 완충지(buffer zone)로 조성하는 것이 그 예이다.⁴³⁾

ICE(2010)가 제안한 해수면상승 적응 전략 중 Dronkers et al.(1990)와 다른 방안은 바로 진출 전략이다. 연안의 육역 손실이 늘어나면서 해양 쪽으로 육역의 범위를 넓히려는 전략이며, 사빈의 인공적 조성이나 인공 섬 조성, 수중 도시, 해상 도시 건설 등이 있다. 네덜란드의 남쪽 지방에서는 계속해서 감소하는 사빈해안의 폭을 늘리기 위해 인공적으로 바다 속의 모래를 준설하여 사빈으로 퍼 올리는 사업(Sand motor)을 진행하고 있다. 퍼 올려진 토사로 인해 사빈이 안정되며 해안 침식과 준설의 상호작용으로 인해 더욱 동적인 토사 순환이 가능하게 된다. 인간의 인공적인 행위이지만 자연의 순환 원리를 이용한 사업으로 자연의 회복력에 도움이 되는 것으로 평가되고 있다.

네덜란드 북부에 위치한 저지대 호로닝언 지역의 ‘Offensive Coastal Defense’ 계획은 인공 섬 조성의 예로 들 수 있다. 지역의 건축가, 교수, 학생, 지역 커뮤니티, 공무원 등 다양한 지역의 이해관계자들이 참여하여 구상한 방안으로, 이들은 호로닝언 연안 위치한 4개의 섬(Wadden Islands)의 전면에 형태가 같은 5개의 인공 섬을 조성하는 것을 제안하였다<그림 2-12>. 인공 섬은 파랑과 태풍의 영향을 완화시켜 배후지를 보호하는 역할을 하며, 섬과 섬

41) 정진성, 조현천, “유럽 해항도시 항만재개발 물모델로서 하펜시티 함부르크의 특성에 관한 연구,” 『한국항해항만학회지』, 35(6), 2011, p.544

42) Roggema, *Adaptation to Climate Change: A spatial Challenge*, (Springer, 2009), pp. 146-51

43) Thomas Kaplan, 앞에 든 글.

사이에는 형성된 석호(lagoon)는 바다 생물 및 육지 생물들이 태풍과 너울성 파도를 피해 서식할 수 있는 환경을 제공한다.⁴⁴⁾ 풍수해로 인해 섬이 침식되면, 연안에 완경사를 형성하고 자연적으로 모래 둔덕을 형성시킬 것이라 예상하기 때문에 섬이 침식되었을 시에도 연안 환경에 긍정적인 역할을 한다.



<그림 2-12> 네덜란드 흐로닝언 지역의 진출 전략도

출처: Roggema, 앞에 든 책, p.130

이는 교외지의 무분별한 확산을 줄이고, 사회의 과학 기술 발달을 도모하며, 연안 이용의 새로운 가능성을 제안한다. 하지만 이 방안을 통해 해상에 형성된 구역은 기존의 연안 지역보다 해안에 진출되어 있기 때문에 연안 재해에 더 크게 노출된다는 단점이 있다. 또한, 기존의 경성공법과 같이 해류의 흐름을 바꿔 연안의 토사순환을 방해하거나 해양생태계를 파괴할 가능성이 있다. 이는 현재 해수면 상승 및 풍수해의 영향이 거세짐에 따라 최근 연구 및 실행되고 있는 방안이다.

44) Roggema, 앞에 든 글, pp.125-31

제4절 소결

제주도는 경성호안의 방안보다 연안완충공간 조성이 더욱 적합하다. 그 이유는 첫째, 제주도는 관광업 중심의 섬이기 때문이다. 제주도의 대부분의 기능은 연안 저지대에 집중되어 있으며, 주요 산업인 관광기능 또한 연안 저지대에 밀집해있다. 제주도는 매년 태풍과 호우의 영향을 매우 크게 받는데다가⁴⁵⁾ 해수면이 매우 빠른 속도로 상승하고 있기 때문에 기존 태풍의 강도가 증가하거나 국지성 호우의 발생 빈도가 잦아질 것으로 예상된다. 곧, 기존의 경성호안을 지속적으로 강화 및 증고에 대한 고려가 필요하며, 정기적인 점검이 요구된다. 뿐만 아니라 관광의 기능이 연안에 밀집되어 있기에 제방을 쌓아올리는 데에 한계가 있다.

연안완충공간 계획은 경제적, 문화적인 측면에서도 긍정적인 효과를 불러일으키기에 생태관광산업이 크게 떠오르고 있는 제주도의 경제 및 환경에 긍정적인 역할을 할 수 있다. 제주도의 자연 경관을 감상하기 위해 방문하는 입도객의 비중이 높다는 점, 제주도의 생태 가치가 매우 높다는 점, 연안에서 다양한 축제가 이루어지고 있다는 점에 비추어 보았을 때, 권장되는 연안의 구성이라 볼 수 있다. 지역의 식생으로 이루어진 다양한 경관은 지역민의 교육의 기회 제공, 지역 소속감 증가, 지역 특성화 및 홍보 시 이용 등의 이점을 제공하며, 관광객에게는 지역의 생태 체험, 숲길 및 소규모 공원에서의 휴식 등의 장점이 있다.

둘째, 대부분의 주거지가 연안에 형성되어 있는 데에 비해, 해당 촌락의 규모가 크지 않다. 경성호안은 고밀 개발된 지역에 적절한 방안인 데에 반해 제주시 동지역과 서귀포시 일부 동지역을 제외하고, 연안을 따라 저밀의 자연촌락지역이 형성되어 있어 제주도 대부분의 지역에는 경성호안이 꼭 필요하지 않다. 자연 연안은 불투수층에 비해 환경의 변화에 적응력이 높아 해수면 상승 외의 기후변화 현상(기온 상승, 수온 상승 등)에 사회 경제적인 피해가 적다. 특히 장기적인 관점에서 유지 관리 및 보수비용을 고려한다면, 주거지를 안전한 지역으로 이동시킨 후 연안완충공간으로 복원하는 것이 지역사회의 입

45) 소방방재청, 앞에 든 자료, p.34

장에서 유리하다고 할 수 있다.

또 다른 결론은 연안의 지형적 특성에 따라 재해완화의 주안점이 다르다는 것이다. 사질해안에서 가장 중시할 사항은 바로 자연지형요소, 즉, 투수층간의 연결이다. 사질해안의 주 구성요소인 모래는 입자가 매우 작아 파도, 외부의 작은 에너지에도 반응하여 이에 따라 이동한다. 이러한 이동은 크게 침식과 퇴적으로 나눌 수 있는데 이것이 균형을 이루도록 하려면 모래사장, 해안사구, 해안림이 지형적으로 연결되어 있어야 한다. 자연 지형간의 긴밀한 연결은 모래의 흐름을 인공적으로 방해하지 않아 토사순환이 자연스럽게 이루어질 수 있도록 돕는다.

암석 해안과 인공해안에서는 연안재해에의 직접적인 타격을 막기 위해 해안선으로부터 일정 거리를 이격하여 재해 위험구간으로 지정하고 관리하여야 한다. 다만 인공해안의 경우 암석해안과 달리 불투수층으로 이루어져 있어 연안재해가 발생하였을 시 유출수를 감소시키지 못하여 또 다른 피해를 유발하므로, 도시 내로 유출수가 유입되는 것을 최소화 하도록 공간을 설계하는 것이 중요하다. 이러한 방안은 해수면상승 대응 방안인 방어, 순응, 이주, 진출 전략을 통해 구체적으로 구현될 수 있다.

제3장 제주도 연안 분석

제1절 제주도 연안의 구분 및 구성

제주도 지형은 계통적으로 화산지형, 해안지형, 풍화지형, 하천지형, 습지지형, 주빙하지형 등 6개 지형으로 대분류 할 수 있다.⁴⁶⁾ 이들 중 제주도의 대부분을 차지하는 것은 화산지형과 해안지형이며, 해안지형에 대한 계통적인 지형분류는 사질해안, 암석해안, 인공해안으로 구분된다(김태호, 2003). 제주도의 연안에서 가장 많이 볼 수 있는 지형은 바로 암석해안이다. 김태호(2003)의 연구에 따르면 암석해안은 제주도 전체 해안의 75%를 차지하고 있으며, 항만, 공유수면 매립, 해안도로, 호안시설과 같은 인공해안은 17.9%를, 사질해안은 7.1%를 차지하고 있다.

하지만 2003년 이후 2011년까지 9년 동안 매립, 제방 건설, 항구 확장 등 많은 해안개발이 이루어졌다. 도시지역의 면적은 증가한 반면 비도시지역의 면적은 감소하였으며, 제주도의 전체인구는 2006년에 비해 2011년의 인구는 1.03배 밖에 증가하지 않았지만 비도시지역에 거주하는 인구는 약 45%가량 감소하였다.⁴⁷⁾ 제주도의 도시는 대부분이 연안 저지대에 위치해있다는 것을 보아 연안역의 개발이 계속해서 진행되어 왔다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 연안육역(500m)이내의 구역에서 매립한 지역, 제방을 건설한 지역, 인공적으로 돌을 쌓아 1m 이상의 높이를 높인 것을 인공해안으로 구분하였다. 해당 기준에 따라 인공해안의 비율은 33.6%를 차지하는 것으로 분석되었다. 인공해안의 비율이 증가함에 따라 암석해안은 전체에서 59.3%를 차지하며, 사질해안은 동일하게 7.1%에 해당하는 것으로 분석되었다. 모든 해안에서 불투수층으로 이루어진 주거, 상업 및 해안도로 등의 개발지가 가장 높은 비중을 차지하였다<표 3-1>. 농지, 임야 및 노지 등의 투수층은 녹지로 분류하였다. 각 해안선의 길이 당 배후지가 차지하는 길이의 비율을 기재하였다.

46) 권동희, “제주도 지형지,” 『한국사지리지학회지』, 22(1), 2012, p.2

47) 제주특별자치도, 앞에 든 통계자료, 주택 건설 부문.

<표 3-1> 연안형태 별 연안육역의 공간 구성 분류

출처: 2013년 11월 13-14일 직접 촬영

유형	배후지	전경
사질해안	개발지 (83%)	
	녹지 및 습지 (17%)	
암석해안	개발지 (51%)	
	자연촌락 (38%)	
	녹지 (11%)	

인공해안	개발지 (50%)	
	항구 및 제방 (31%)	
	강 하구 (15%)	
	매립지 (4%)	

제주도 경제에서 관광업이 가장 큰 비중을 차지하는 만큼 사질해안은 대부분이 해수욕장으로 이용되고 있으며(83%) 배후가 상업지 및 도로 건설 등으로 개발되어 있어 토사순환이 이루어지지 않아 사빈은 매우 빠른 속도로 침식되고 있다. 제주도 내 사질해안의 연안완충공간을 계획하기 위해서는 각 사질해안의 연안육역범위 내 투수층과 불투수층간의 구성을 파악하고, 투수층 간의 연결을 도모해야 한다.

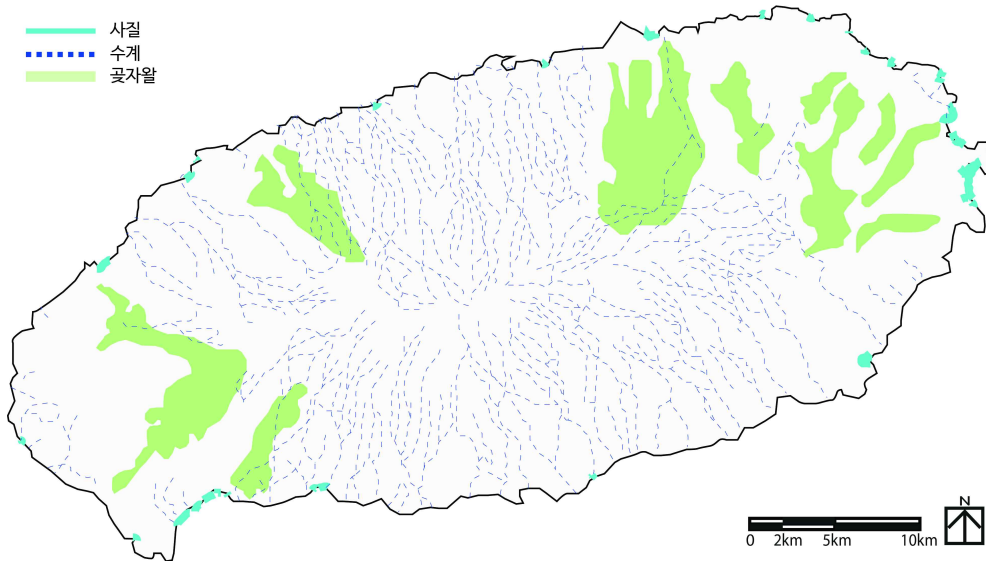
암석해안은 제주도에서 가장 높은 비율을 차지하고 있는 해안의 형태이다. 암석해안의 배후지로 가장 많은 부분을 차지하는 것이 바로 개발지이다. 개발

지의 대부분은 주거지로 계획되어 있다. 개발지와 자연촌락지를 구분한 이유는 바로 불투수층의 비율 때문이다, 자연촌락지는 어촌마을이 형성되어 있는 곳으로 연안에 맞닿은 곳을 밭이나 흙길로 이용하고 있는 등 투수층으로 이루어져 있다. 다만, 재해의 영향에 있어서는 연안육역 내 건축물의 위치, 거주하는 인구 수 등이 변수로 작용한다. 제주도 내 고위험의 암석해안의 연안육역 범위 내 도로 위치, 건축물의 분포와 용도 등을 파악하고 재해의 피해를 최소화할 수 있도록 구간을 계획해야한다.

인공 해안은 항구와 도로가 대부분이고, 제주시 동지역과 한림항 지역은 매립으로 인해 계획된 상업지, 주거지 등이 계획되어 있다. 인공해안의 경우 지속적으로 피해가 큰 지역을 모색하여 불투수층의 면적을 줄이도록 하는 계획이 필요하다. 또한 암석해안과 같이 침수 위험을 조사하여 피해가 있을 것으로 예상되는 연안육역 범위 내 건축물의 분포와 용도 등을 검토해야 한다.

제2절 사질 해안

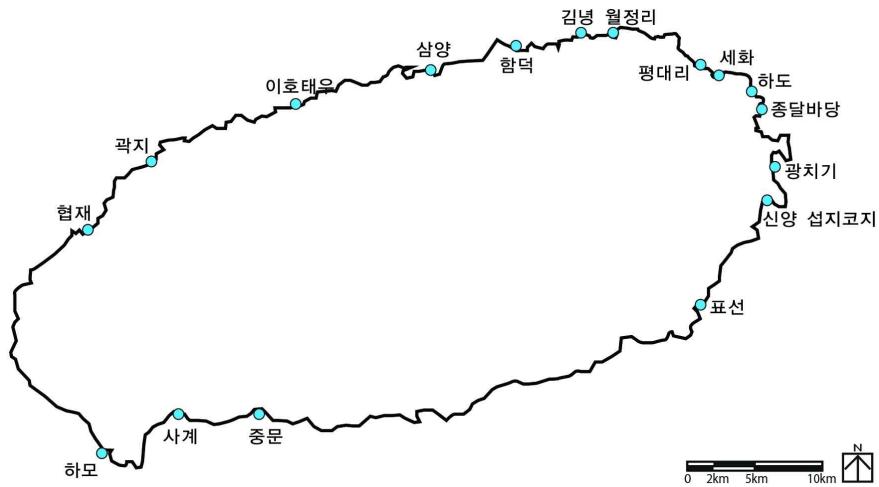
제주도의 사질해안의 위치는 다음과 같다<그림 3-1>. 연안의 회복력에 가장 주요한 요인은 자연 지형(투수층)의 연속성과 그들 간의 관계(에너지 순환)에 있다. 제주도 사질해안의 현황을 파악하기 위해 연안육역범위(500m) 배후지를 분석하였다.



<그림 3-1> 사질해안의 분포

1. 사질해안의 투수층 구성 분석

총 17곳<그림 3-2> 중 폐쇄된 해수욕장인 하모 해변을 제외하고, 사질해안 연안육역 범위의 투수층과 불투수층 면적 비율 및 해안으로부터 내륙까지의 구성 순서를 조사하였다<표 3-2>. 투수층의 기타 녹지에는 습지, 밭, 노지가 해당하고, 불투수층의 기타에는 관광단지가 해당된다. 이때의 해안사구는 사구의 전사구 부분을 일컬으며, 해안사구에 소나무, 전나무 등의 나무가 형성되어 있는 경우 해안림으로 분류한다.



<그림 3-2> 해변 지명

<표 3-2> 사질해안 분석 기호

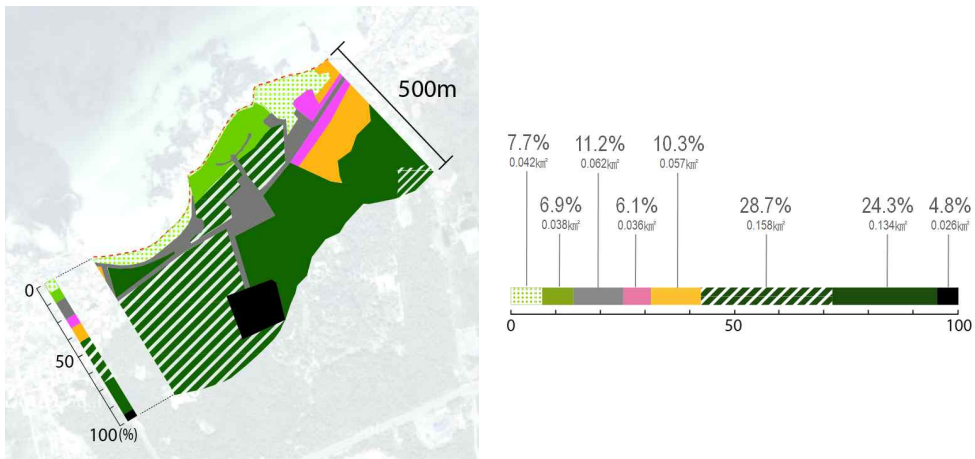
구분		기호
투수층	사빈	
	해안사구	
	해송림	
	기타 녹지	
불투수층	도로/주차장/옹벽	
	주거지	
	상업지	
	기타	

분석은 다음의 방법을 통해 수행하였다. 연안육역범위(2010년 국토지리정보원에서 제작한 2013년 8월부터 10월에 제작한 1:25,000 축적의 수치지형도 상의 해안선을 기준으로 수직 방향의 내륙으로 500m의 범위)의 면적을 100%로 하여 연안육역 내 각 투수층과 불투수층의 면적 비율을 산출하였다. 금녕·협재 해변을 예시로 들자면 사빈의 면적 7.7%, 해안사구의 면적은 6.9%, 해송림은 28.7%, 기타녹지로 분류된 수목원/공원은 24.3%, 도로는 11.2%, 상업지 6.1%, 주거지 10.3%, 기타로 분류된 학교는 4.8%의 비율을 차지한다<그림 3-3>.

이를 그래프로 표현할 시, 해안선으로부터 가까운 순서 데로 표기하였으며

같은 투수층끼리 혹은 불투수층끼리 병렬적으로 배치되었을 경우 더 낮은 비율을 차지한 것을 앞에 배치하였다. 금능·협재 해변을 예시로 들자면 사빈, 사구, 도로, 상업지, 주거지, 해송림, 기타녹지(수목원/공원), 기타(학교)로 표기될 수 있다. 투수층의 구성 순서와 연안 육역범위에서 차지하는 비율을 통해 각 구역이 갖는 문제점을 분석할 수 있다.

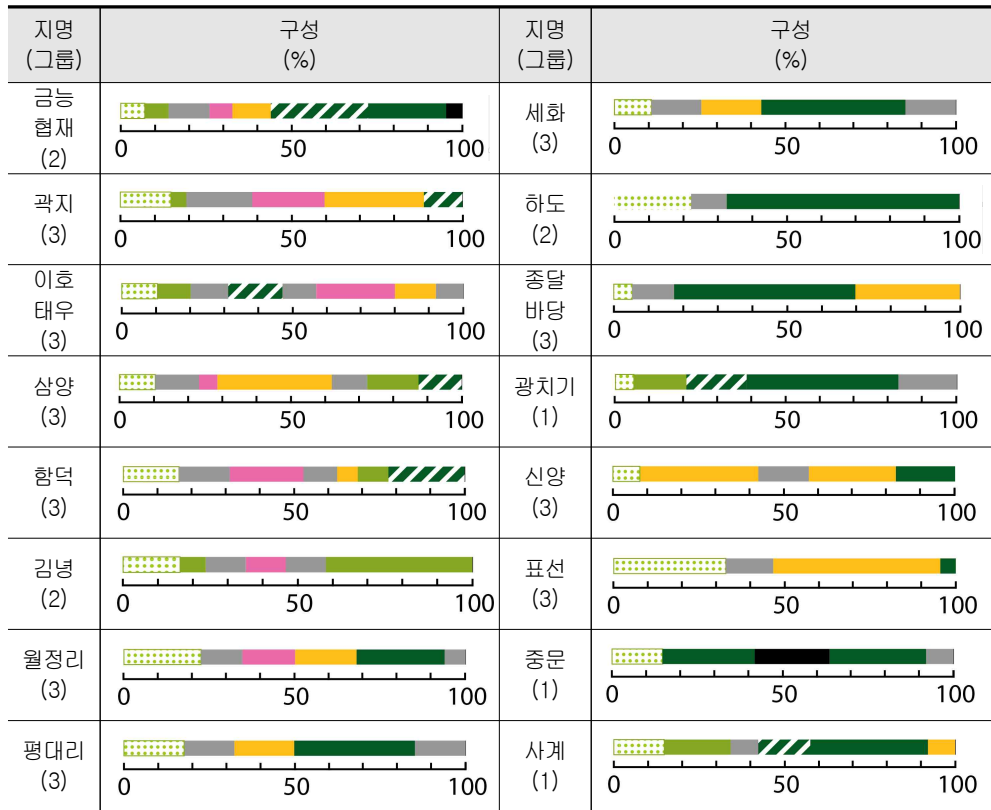
해안선을 기준으로 분석하게 되어 해변의 퇴적 현황을 제대로 반영하지 못하였다. 하지만 본 연구는 사빈에 중점을 두지 않고, 사빈부터 시작되어 배후지(사구, 해송림)로의 연결성과 상호작용을 알아보기 위한 연구이므로 단순 면적을 분석하는 것으로 분석을 진행하였다.



<그림 3-3> 사질해안의 배후지 구성 분석 방법

사질해안의 연안 육역범위 구성 그래프를 분석한 결과<표 3-3> 사질해안은 총 3범주로 분류할 수 있었다. 첫 번째는, 연안육역범위 내에서 불투수층의 비율이 20%미만으로 매우 적은 부분을 차지하며, 사빈과 사구, 해송림이 연결되어 있어 다른 계획이 필요하지 않는 사질해안이다. 두 번째는, 불투수층의 비율이 30%이하로 적은 부분을 차지하지만 연안의 자연지형 간 연결이 불투수층으로 인해 단절되어 있어 계획을 통해 재해완화 기능이 가장 손쉽게 증진될 가능성이 있는 사질해안, 세 번째는 불투수층의 비율이 30%초과하며, 연안의 자연지형 간 연결이 단절되어 있어 회복력이 가장 낮은 연안이다.

<표 3-3> 제주도 사질해안의 연안 육역범위 구성 그래프(%)



첫 번째 범주에 해당하는 해안은 광치기, 중문, 사계 해변 세 곳이다. 두 번째 범주에는 하도, 금능·협재, 김녕 해변이, 세 번째 범주에는 곽지, 이호태우, 삼양, 함덕, 월정리, 평대리, 세화, 종달바당, 신양, 표선 해변이 해당한다. 본 논문에서 분석한 모든 사질해안은 해수욕장으로 이용되고 있기 때문에 대부분의 해변이 개발되어 있어 첫 번째 범주에 해당하는 해변을 제외하고, 자연 그대로의 상태를 관찰하기는 어렵다.

첫 번째 범주에 해당하는 곳은 광치기, 중문, 사계 해변<표 3-4>이다. 세 해변은 연안육역범위 내 투수력 있는 자연지형의 면적이 가장 넓으며, 자연지형 간 연계가 긴밀하게 이루어진 곳이다. 배후에 해송림과 밭이 연결되어 있으며, 지형의 경사도가 가파르기에 현재의 상태에도 이미 연안완충공간의 역할을 하고 있다고 볼 수 있다.

중문 해수욕장은 경사도가 약 65% 되는 가파른 언덕이 연안에 바로 맞닿아 있어 독특한 사빈 경관을 형성하고 있다. 광치기 해안의 경우 해빈과 전사구의 규모가 크고, 연속성은 물론 자연성도 매우 높아⁴⁸⁾ 지형적, 경관적 가치가 높다. 사계 해변은 사빈과 해안사구, 해안림의 연결을 도로가 가로막고 있지만 해안사구의 높이가 10-25m로 높게 형성되어 있어 배후의 주거지를 보호하는 역할을 하기에 충분하다. 해빈과 해안사구 지대는 지형의 다양성은 높지 않으나 규모, 역동성, 자연성, 경관 등의 측면에서 비교적 높은 가치가 있다.⁴⁹⁾

<표 3-4> 중문, 광치기, 사계 해변의 전경



출처: 2013년 11월 13-14일 촬영

두 번째 범주에 해당하는 하도, 금능·협재, 김녕 해변은 불투수층의 비율이 낮고 해안사구가 존재하지만, 도로와 시가지로 인해 해송림 및 습지와와의 상호작용이 어렵다. 하지만 도로 혹은 옹벽 배후에 공원 및 야영장과 해송림이 넓게 형성되어 있다. 이러한 지역은 취약한 지역에서 연안완충공간으로 계획하기에 가장 가능성이 높은 지역이다. 불투수층의 기능을 배후지로 이주시키거나 토사순환이 가능한 구조의 건물, 도로의 형태로 개선하여 연안완충공간으로 조성할 수 있다.

세 번째 범주는 그 안에서 주거지 면적의 비율이 높은 어촌과 상업지의 비율이 높은 해수욕장으로 나눌 수 있다. 신양과 표선, 종달바당, 삼양, 평대리 해안은 전자에 해당하고, 광지, 이호태우, 함덕, 월정리 해변은 후자에 해당한다. 전자에 해당하는 지역 중 신양, 표선, 삼양의 지역에는 주거지가 넓게 형성되어 있는데, 개발 이전에는 해안사구지대였다. 종달바당, 평대리 해안은 해

48) 환경부, 『2004 전국해안사구정밀조사(II): 섬지코지·협재·사계』 (환경부·국립환경연구원, 2005), p.7

49) 환경부, 같은 책, p.261

당 어촌에 사는 주민들의 경작지가 펼쳐져있어 세 번째 범주에 해당하는 해변 중 비교적 투수층이 넓다고 할 수 있다.

후자에 해당하는 괏지, 이호태우, 함덕 해변은 해안사구 지대를 개발하여 상업지가 입지하게 되었다. 괏지해수욕장과 이호태우 해변은 해수욕장 이용객을 대상으로 하는 민박, 게스트하우스, 편의점 등의 상업시설이 형성되어 있고, 월정리와 함덕 해안에는 사빈에 맞닿아 카페들이 모여 있어 관광객들에게 인기가 많은 해변으로 자리 잡았다. 함덕 해변의 경우 바위와 인공구조물로 인해 두 쪽으로 나뉘어져 있으며 동쪽으로 접하여 고도 111m의 산봉우리가 위치해 있는 등 독특한 해수욕장의 경관이 형성되어 있다.

2. 해안도로

제주도의 매립된 지역은 적은 반면, 도로개설은 전국 최고수준에 이른다.⁵⁰⁾ 제주도의 해안일주도로는 해안사구와 괏자왈을 가로질러 연안의 자연스러운 토사순환을 방해하고, 식생변화에 큰 영향을 주고 있어⁵¹⁾ 제주도에서 사질해안과 암석해안에 부정적인 영향을 미치고 있다고 할 수 있다. 이는 생물 종 다양성 감소 뿐 아니라 풍수해에 대한 노출과 그 취약성을 증가시켜 연안의 회복력(Resilience)을 저하한다.

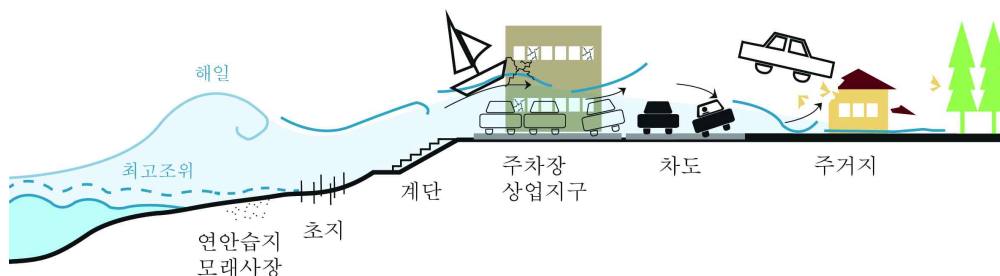
첫 번째 범주에 해당하는 세 해변과 신양해변을 제외하고 모든 사빈의 해안에는 도로가 사빈과 해안사구를 가로막고 있다. 불투수층은 개발하여 상업지, 주거지, 관광지, 도로 등으로 이용하는 곳이기 때문에 불투수층의 면적비율이 높을수록 재해 발생 시 경제적 피해와 인명 피해의 위험이 증가한다고 할 수 있다<그림 3-4>. 완충역할을 하는 공간이 없기에 해일이 일어났을 때 파력, 풍력의 에너지가 건물을 직접적으로 전달되기 때문이다. 해수는 도시에

50) 제주도의 면적은 전국에서 가장 작는데 비해 도로밀도는 1.92로 서울특별시 및 광역시를 제외하고 전국 광역도 가운데 2위이다. 도로 밀도는 ‘도로 면적(km)/행정구역 면적(km²)’으로 계산하였으며, 2011년 전국 도로 면적은 한국토지주택공사 고간정보처에서 제공, 통계청에서 건설·주택·토지 항목으로 공개한 자료를 사용하였고, 2011년 전국 행정구역 면적은 제주특별자치도청에서 제공한 2012년 통계연보에서 발췌한 자료를 사용하였다. 2011년 기준 전국 평균 도로화율은 1.56%이다.

51) 해안도로의 개설과 괏프장 건설이 괏자왈의 생태 교란과 식생의 변화에 큰 영향을 미치고 있다.

출처: 국립민속박물관, 앞에 든 책, p.173

그대로 흘러들어 침수면적을 넓히고, 건물과 도로의 파괴, 잔해물의 부유, 경작지 훼손, 배후시설의 파손 등 2차 피해로 이어진다.



〈그림 3-4〉 제주도 해수욕장의 단면과 연안재해발생 시 영향 모식도

해변의 불투수층은 비일상적인 재해의 피해를 증가시킬 뿐 아니라 일상적 재해인 해안침식도 가속화시킨다. 사빈에 바로 맞닿은 불투수층은 토사순환을 방해하기 때문이다. 구좌읍의 김녕성세기해변을 예로 들 수 있다. 김녕성세기 해변은 규모 2km이상의 제주도 최대의 해안사구의 사빈이다. 해수욕장에는 도로가 바로 맞닿아 있으며, 상가, 주택지, 주차장과 같은 시설이 분포해있다. 콘크리트 옹벽 위에 도로가 건설되어 있어 도로에서는 계단을 통해 사빈에 접근할 수 있도록 되어 있다〈그림 3-5〉.

해안사구지대를 해수욕시설로 개발한 이후에 모래순환 시스템(백사장↔모래언덕)이 붕괴되어 전면 백사장의 모래가 유실되고 있다.⁵²⁾ 제주도는 겨울철 북서풍에 큰 영향을 받는데, 이 북서풍을 타고 배후의 사구에 안착해야 하는 모래가 도로위에 올라오고, 이는 다시 사빈으로 내려가지 않고 있다〈그림 3-5〉.

제주도 대부분의 해수욕장은 해안도로로 인해 김녕성세기 해수욕장과 같이 모래 유실로 인해 환경이 급속도로 악화되고 있다.⁵³⁾ 즉, 제주도 대부분의 사질해안은 해안침식이 매우 빠른 속도로 진행되고 있으며, 해안가에 재해가 발생했을 때 피해 증대, 재난 복구비용 증가, 인명 피해 증가로 이어진다고 해석할 수 있다.

52) 최진희, 앞에 든 논문, p.60

53) 최진희, 같은 글, pp.62-4



〈그림 3-5〉 김녕성세기해변의 해안도로와 진입계단

출처: 2013년 9월 5일 촬영

3. 해안 사구의 현황

세계적으로 해안사구는 해안환경시스템의 중심으로 인정받고 있음에도 불구하고, 제주도 해안사구 대부분은 개발로 인해 다소 훼손되었으며, 계속해서 훼손이 진행되고 있다.⁵⁴⁾ 제주도의 해안사구는 총 12개로 집계되고 있는데, 양호한 상태를 띄고 있는 해안사구는 사계 한 곳으로 분석되었다<표 3-5>.

〈표 3-5〉 제주도 해안사구의 보존 현황

사구 길이	개수	상태		
		양호	보통	파괴
대 (2km 이상)	2		삼양, 김녕	
중 (1-2km)	1	사계		
소 (1km 이하)	9		곽지, 협재, 하모, 표선, 섭지코지, 하도	이호, 평대, 함덕
총 계	12	1	8	3

출처: 환경부, 『해안사구 보전관리지침』, (환경부·국립환경연구원, 2002), p.45

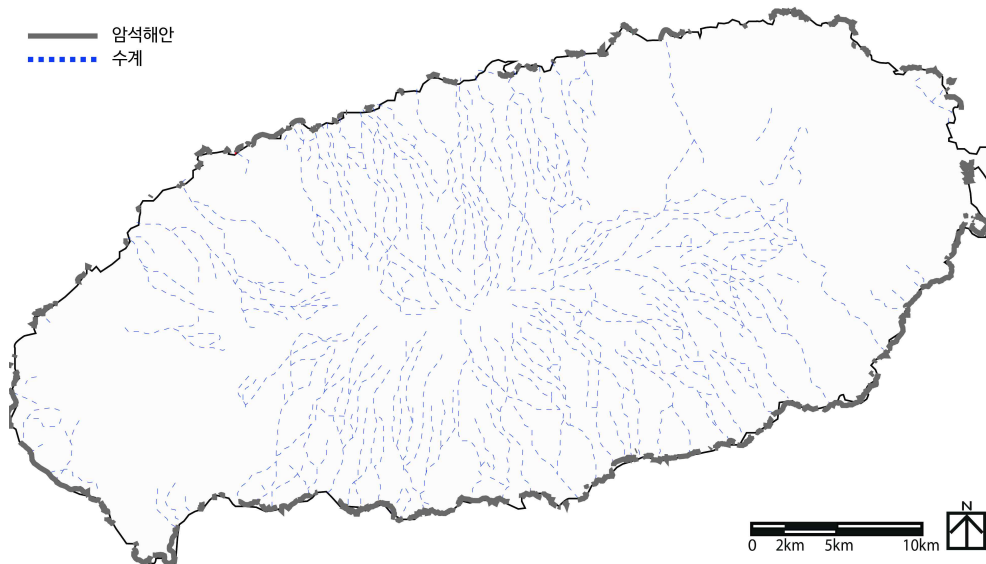
환경부(2002)의 해안사구조사에서 대부분의 해안사구가 보통 이상의 상태로 분석되었지만 조사 이후에 많은 개발이 진행되었기 때문에 해안사구의 상태는 더욱 악화되었다. 환경부의 2005년 연구에서는 사계의 전사구 지역은 제주도의 다른 사구지대에 비해 자연성이 두드러지게 높지만, 사구 주변에 주거지역과 관광시설이 인접하고 항만시설과 매립, 도로 등으로 다소 해안사구와 그 식생이 훼손되었다고 발표하였다.⁵⁵⁾

54) 오승환, 김혁진, 앞에 든 논문, p.375

55) 환경부(2002)는 전국 해안사구 총 133개 조사 이후 우수한 23개 해안사구를 대상으로 해안사구

제3절 암석 해안

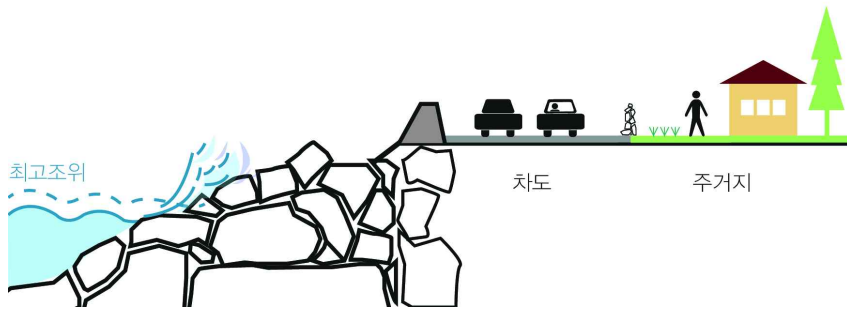
제주도 연안 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 연안의 형태는 암석해안이다<그림 3-6>. 대부분의 암석해안은 배후지가 저밀 주거지 혹은 밭으로 구성되어있으며<그림 3-7>, 제주도는 지형적 특성 상 본래 투수력이 높은 현무암으로 이루어져있다. 이에 따라 연안재해지수가 높다 하더라도 재해발생 시 고밀 도시 및 관광지에 비해 물적, 인적, 지형적 피해는 적을 것으로 예상된다. 하지만 배후지에는 대부분 해안도로가 맞닿아 있어 태풍, 해일과 같은 풍수해가 일어날 경우 통행 차량과 통행인에 피해를 입힐 수 있다.



<그림 3-6> 암석해안의 분포

정밀생태계 조사를 실시하였다. 조사는 2008년까지 진행되었으며, 제주도의 해안사구는 전체 12개 중 섬지코지, 협재, 사계 3곳이 선별되었고, 2004년에 조사가 진행되었다.

출처: 환경부, 앞에 든 글, pp.3, 7-8.



<그림 3-7> 암석 해안 중 개발지의 모식도

1차 피해의 규모를 줄이기 위해 재해의 위험이 높을 것으로 예상되는 구간을 조사해야 한다. 이를 위해 해안침수 예상구역을 분석하였다. 제주도 연안육역범위의 침수 예상 범위에 대해 조사한 연구는 국립해양조사원(2011, 2012)의 연구가 있다. 국립해양조사원(2012)에서는 제주도의 제주시와 서귀포시를 포함한 우리나라의 18개 도시⁵⁶⁾의 연안재해노출지수를 산출하여 각각 5등급으로 구분하여 표기하였다.⁵⁷⁾ 연안재해노출지수 연구결과에 따르면 제주도 전체 해안선의 2.9%를 제외하고 모두 4등급 이상으로 구분되어 전체적으로 자연재해의 영향이 크게 미친다고 볼 수 있다(국립해양조사원, 2012). 특히 서귀포시의 동지역과 성산읍, 표선면의 연안재해노출지수가 가장 높다<그림 3-8, 표 3-6>.

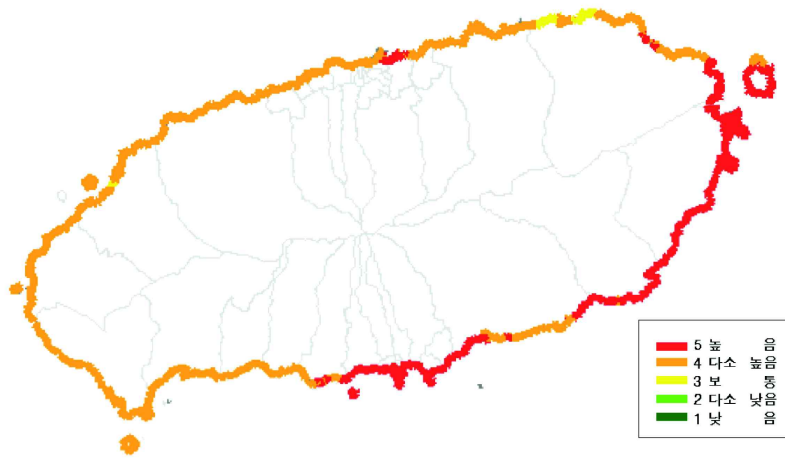
56) 거제, 고성, 고흥, 광양, 군산, 남해, 목포, 보성, 부산, 사천, 서귀포, 순천, 여수, 울산, 제주, 창원, 통영, 하동을 대상으로 하였으며, 이는 우리나라 전체 해안선 약 13,508km의 23.7%에 해당하는 약 3,915km에 해당한다.

출처: 국립해양조사원, 앞에 든 글, 2012, pp.92-3

57) 국립해양조사원(2012)에서는 2010년부터 3개년 연구를 통해 연안재해노출지수와 연안민감도지수 및 연안적응능력지수를 산출하고, 최종적으로 연안재해취약지수를 도출하였다. 취약성 평가는 IPCC의 기후변화 취약성 개념 틀을 사용하였다. 연안재해노출지수는 태풍, 해일, 파랑, 침식, 조석, 해수면 상승 지표를 고려하였고, 연안민감도지수는 인적 민감도(인구 밀도, 취약인구;고령인구, 장애인구), 물적 민감도(연안 건물, 어선/접안시설, 산업단지, 도로, 양식장, 연안취약시설물, 공시지가), 지형적 민감도(침수지역의 범위, 해안선, 표고, 경사도)를 고려하였다. 연안적응능력지수는 지역의 사회 경제력 적응능력(재해예산, 의료 종사자, 주민대응역량)과 행정자치력 적응능력(중장비 수, 공무원 수, 대피소 수용 가능 인원, 재난경보시스템)을 포함하였다.

출처: 국립해양조사원, 같은 글, pp.37-40

본 연구에서 제시하고자 하는 계획은 연안의 재해에 노출되어있는가에 관한 결과만을 참고한다.



<그림 3-8> 제주도의 연안재해노출지수도

출처: 국립해양조사원

<표 3-6> 지수 등급별 해안선길이(km)

등급	연안재해노출지수
1	0.0(0.0%)
2	0.0(0.0%)
3	13.3(2.9%)
4	285.1(62.9%)
5	154.9(34.2%)
총합	453.3(100.0%)

출처: 국립해양조사원, 2012, 앞에 든 글.

국립해양조사원(2011)의 제주지역 해안침수 예상도를 참고하여 침수 예상 지역을 살펴보았다. 해안침수예상도는 태풍, 호우, 해일 등으로 인하여 해안지역에서 발생할 수 있는 피해 가능성을 예측하여, 침수예상지역, 침수(피해)범위, 예상 침수심⁵⁸⁾ 등을 표시한 지도이다. 이는 인천 평균해면을 기준으로 제주지역 약최고고조면(1.516m) 상에 최대 범람 해일고를 계산한 자료이다. 해일고는 50년 빈도, 100년 빈도, 150년 빈도, 200년 빈도로 작성되었으며, 50년 빈도와 200년 빈도의 해일고는 평균 20cm의 차이가 있다. 본 논문에서는 200년 빈도의 해일고를 기준으로 작성한 지도를 참고하여 위험 지역을 분석하였다.

가장 높은 3m 이상의 해일고가 예상되는 지역은 모두 암석해안에 해당하며,

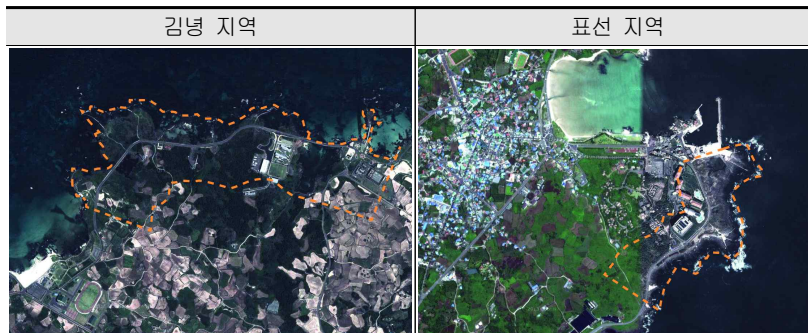
58) 본 글에서 지칭하는 침수심은 태풍에 의한 범람수위에서 육상표고 만큼을 뺀 것이다.

출처: 국립해양조사원, 앞에 든 글, 2011.

넓은 자연 암석이 해안을 향해 뻗어있는 형태를 취하고 있었다. 또한 침수로부터 안전한 지역은 모두 암석해안이었다. 암석해안 배후에 있는 주거지 및 상업지의 면적 중 21%가 직접적인 피해가 예상되며 해일로 인한 범람 및 강풍 등으로 인한 2차 피해를 감안한다면 더 넓은 지역을 위험지구로 해석할 수 있다.

침수의 위험이 높을 것으로 분석되는 시설 및 도로를 이전시켜 피해를 최소화 할 수 있다. 해당 구역의 대피 시설 및 건물 위치 변경 등의 관리가 필요하다. 또한, 제주도 암석해안에는 갑각류, 어류 및 해조류 등 다양한 생태계가 형성되어 있어 해수면 상승의 영향에 대응하는 연안완충공간을 계획할 시 이를 고려해야 한다. 3.0m 이상의 높은 해일고가 예상되는 제주도의 암석해안 구간은 김녕과 표선 지역에 위치해있다<표 3-7>. 해당 구간의 배후지는 모두 밀집된 개발지가 아니기 때문에 비교적 안전하다.

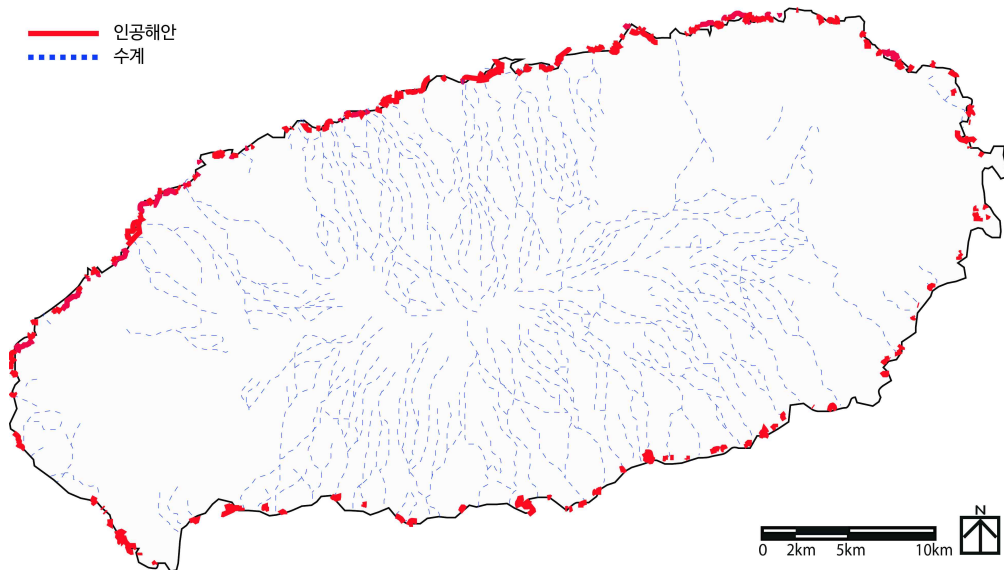
<표 3-7> 높은 해일이 예상되는 암석해안인 김녕과 표선 지역



출처: 구글맵 재구성

제4절 인공 해안

경제적, 문화적 이점으로 인해 연안은 매립, 건설과 같은 개발이 진행되어 왔다. 방조제, 둑 등 방재 구조물은 개발된 배후지를 재해로부터 지키기 위해 건설되는데, 개발된 연안육역과 인공구조물은 모두 인공해안에 속한다. 제주도의 해안선은 관광자원화란 명목으로 해안을 개발하여 지금은 제주도만의 독특한 해안 경관은 대부분 사라졌다.⁵⁹⁾ 해안도로, 항구, 방조제, 경성화 된 강 하구 부분을 포함하여 인공적으로 해안선을 조정한 곳은 모두 인공해안으로 기록하였으며, 이에 따른 분포는 <그림 3-9>과 같다. 작은 항구와 방조제를 제외하면 인공해안의 비율은 크게 줄어든다.



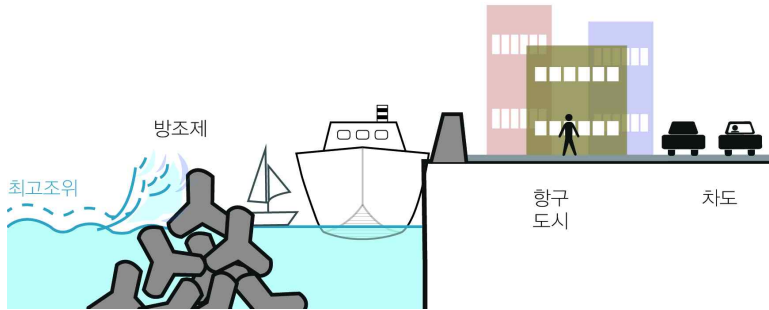
<그림 3-9> 인공해안의 분포

1. 항구와 방조제

항구는 관광객들이 해양스포츠를 즐기기 위한 기반시설임과 동시에 제주도 주민에게 있어 지역의 중요한 삶의 터전이다. 제주도의 경제 중 관광업 다음으로 가장 큰 부분을 차지하는 것이 어업 및 농업이다. 대부분의 마을에는 촌락의 인구수에 따라 다양한 규모의 항구가 여러 개소 위치하고 있으며, 제방

59) 최진희, 앞에 든 글, p.97

을 경계로 양식업이 이루어지고 있다. 가장 큰 항구는 제주항으로 각종 물류의 이동이 이루어지고 국내외로의 다양한 항로가 구축되어 있어 많은 입도객이 드나드는 항구이다. 제주항의 모습은 다음과 같다<그림 3-10>.



<그림 3-10> 제주항의 모식도

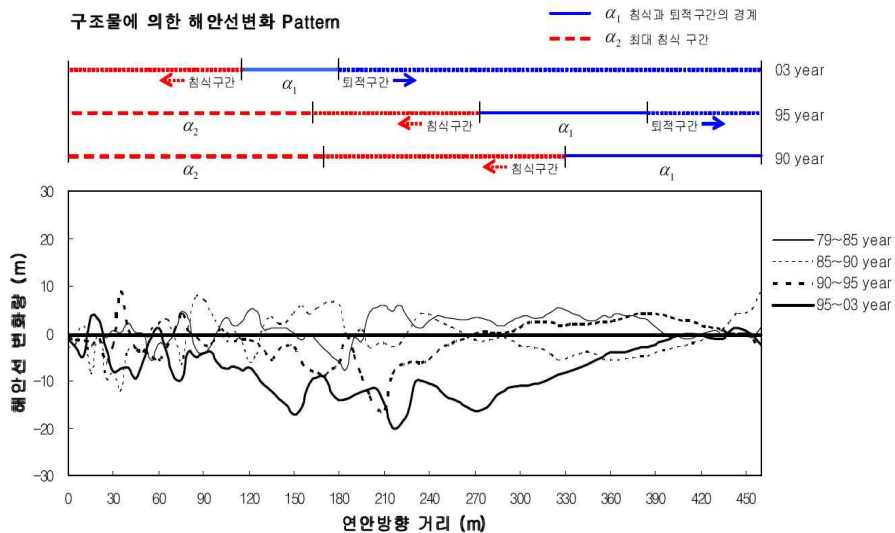
항구와 매립지는 비용을 투자하여 택지를 조성한 만큼 건축물과 여러 시설물이 해안선에 가깝게 입지해 있다. 이에 따라 연안재해가 발생할 경우 1차 피해가 클 뿐 아니라 해수가 범람하게 될 경우 불투수층으로 이루어진 인공해안에는 유출수가 감소되지 못하여 이로 인한 2차 피해가 발생할 수 있다.

뿐만 아니라 기존 방파제 및 항구는 해양환경을 고려하지 않은 채 건설되었기 때문에 이로 인한 제주도 연안의 사질해안침식의 현상이 심화되고 있다. 사질해안 중 광치기 해변을 제외하고, 모든 사질 해안의 반경 1km 이내에 인공축조물이 위치해있다<표 3-8>.

<표 3-8> 해변의 반경 1km 이내에 건설된 연안 인공 축조물

해변 지명	인공축조물	해변 지명	인공축조물
금능·협재	협재 어촌계 선착장 금능 어촌계 선착장	세화	세화 항구
곽지	방파제	하도	요트 선착장
이호대우	이호랜드 요트 선착장, 방파제	종달바당	우도 도항
삼양	삼양 어촌계 선착장 가름 선착장 삼양1동 선박 출입항	광치기	-
함덕	정주항	신양	선착장
김녕	김녕 요트 선착장	표선	표선리 어촌계 선착장
월정리	방파제	중문	중문 어촌계 선착장
평대리	평대 어촌계 공동작업장	사계	사계항

유형석 외(2004)는 인근에 해안 구조물이 설치되어있으며, 해안 배후에 석축 옹벽이 있는 제주도 하모, 화순, 신양해수욕장의 해안선 변화를 분석하였다.⁶⁰⁾ 세 곳 모두 1986년 모슬포 항 축조, 1995년 화순항의 방파제 연장 건설, 1970년대 말의 신양 해수욕장 주변 방파제의 외곽 구조물 시공, 1980-1990년대의 해안도로 증설시기를 기점으로 침식 현상이 더욱 심화되는 등 20년간(1979년~2003년) 사빈 폭이 상당량 감소하였다고 밝혔다<그림 3-11>. 인공축조물은 사질해안의 침식을 가속화 하는 원인이므로 해류의 사질 해안으로의 해류 흐름을 방해하지 않도록 위치 혹은 방향을 조정해야한다.



<그림 3-11> 모슬포 항 축조(1986) 후 하모해변의 해안선의 변화

1986년 이후 사빈의 차지하는 연안 폭(해안선 변화량)이 감소하고, 퇴적구간이 짧아지는 것을 알 수 있음
출처: 유형석 외, 같은 글, 5558p.

60) 유형석 외(2004)의 연구에는 제주도의 하모 해변, 화순(향만대) 해변, 신양 해변의 해빈 유실 원인을 분석하기 위해 대상 해역의 6개 년도(1967년, 1979년, 1985년, 1990년, 1995년, 2003년) 항공사진을 국립지리원에서 취득하였다. Affine Transformation 방법을 사용하여 2차원 부등각 사상 변환을 통해 항공사진을 이용한 해안선 변화를 분석하였다.

출처: 유형석, 문정석, 김규한, 편종근. “해안구조물 주변의 해안선 변화에 대한 연구,” 『대한토목학회』, 2004(10), p. 5554-5

2. 매립지

매립지의 경우 특히 인공적으로 토지의 지형을 수정 및 축조한 해안이기 때문에 암석해안보다 개발되어 있는 경우가 많다. 제주시 동지역의 해안과 한림읍 한림항은 대규모 공유수면 매립이 진행되었던 곳이다. 제주도의 매립지 비율은 매우 낮으며, 제주시 동지역과 한림항 지역에 형성되어 있다<표 3-9>.

<표 3-9> 제주도 매립지



출처: 2013년 11월 13일 촬영

매립지의 부작용은 심각하다. 매립 전에는 파도 에너지의 흡수가 자연스롭게 이뤄졌으나, 매립 후에는 파도가 호안에 부딪치면서 반사율이 커져 파도의 높이가 높아져 방파제를 넘어 배후의 상점을 덮치고 있다.⁶¹⁾ 매립 이후 매 태풍, 풍랑, 호우 발생 때마다 월파 피해, 침수 등 피해가 발생하고, 탑동 방파제 하부시설의 손상이 되풀이 되고 있어 지속적인 보수·보강 공사가 불가피하여 경제적으로 큰 비용을 초래하고 있다<표 3-10>.⁶²⁾

61) 연합뉴스, "塔洞 越波 피해 탑동 공유수면 매립 영향," 『연합뉴스』(1993년 3월 5일), <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0003740470>

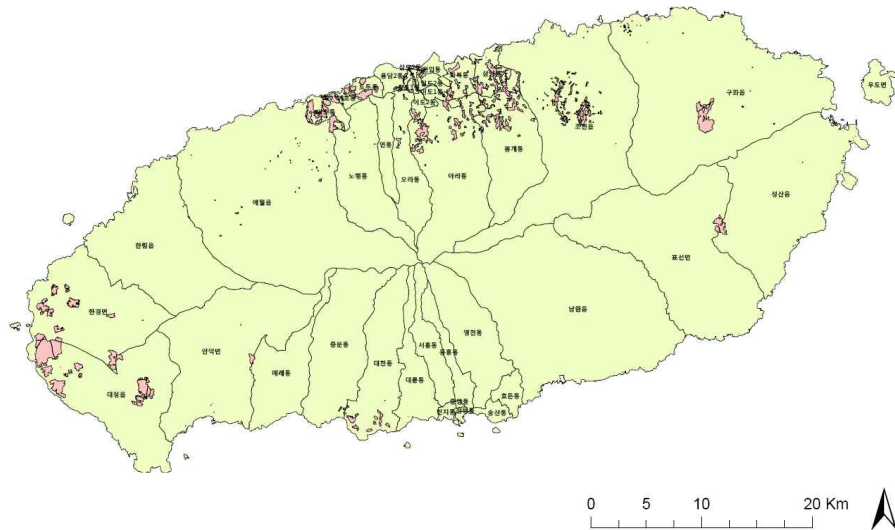
62) 2010년 방파제 하부에 높이 0.85m, 길이 5.8m 규모의 굴이 생길 정도로 심각하게 훼손, 방파제 붕괴 가능성이 제기되어 호안 정밀안전진단을 실시한 결과 긴급 보수·보강이 필요한 판정이 내려져 8억 원을 들여 공사를 진행했다. 하지만 보수·보강공사가 마무리된 이후 방파제 하부구조물에서 추가 손상이 발견되는 등 악순환이 계속되고 있다.

출처: 김경필, "탑동매립지 구조물 안전 '흔들'," 『제민일보』(2013년 4월 2일), <http://www.jemin.com/news/articleView.html?idxno=307058>

<표 3-10> 제주시 탐동의 해안 피해 모습

월파 및 침수(태풍 '산바' 당시)	바닷물의 역류	도시기반시설 훼손
		
출처: 좌용철, “제주시 탐동 앞바다 대규모 매립은 안돼,” 『제주의 소리』 (2013년 2월 5일).	출처: 김봉현, “탐동 주민들 찾은 월파에 쓰나미 공포 ‘벌벌’,” 『제주의 소리』 (2009년 12월 11일)	

제주도는 화산섬이라는 지형적 특성으로 인해 하천의 범람이나 침수가 발생하지 않았지만, 개발된 시가지에서는 불투수층으로 인해 상습적으로 침수가 발생하고 있다. 2006년 이후의 침수 피해 발생지역<그림 3-12>은 제주시와 한경면 고산리 지역에 집중되어 있는데, 이 중 제주시 동지역은 매립 이후 침수가 빈번하게 이루어져 2009년 재해 위험개선지구로 지정되어있다.



<그림 3-12> 2006년부터 2012년까지의 제주도 침수 피해 지역

출처: 대한지적공사

한 공영 방송⁶³⁾에서는 탐동 매립지가 계속해서 붕괴되는 직접적인 원인을

63) 현재성, 앞에 든 자료.

찾기 위해 시뮬레이션 실험을 실시하였다. 탐동매립지의 구조는 자연연안과 달리 완충작용을 하는 대지가 없어 파도의 힘을 그대로 받게 된다는 것, 매립지 자체가 해안을 향해 진출되어 있기 때문에 연안 재해의 영향을 더욱 크게 받는다는 것이라는 구조적인 원인이 있다. 시뮬레이션을 통해 매립지에 파도가 반복해서 부딪치게 되면 매립지가 <표 3-12>에서 보이는 것과 같이 부서지게 된다는 것을 밝혔다.

<표 3-11> 제주시 탐동 해안 피해 모습



출처: 현재성, “제주 먹돌의 경고,” KBS 환경스페셜 제521회, (2012년 11월 13일), KBS, 김봉현, “추가매립 논란 탐동을 향한 먹돌의 경고는?,” 『제주의 소리』 (2012년 11월 15일)에서 재인용.

하지만 매립지 건설 시 파도의 영향을 고려하지 않은 것은 아니다. <표 3-12>에서 보이는 바와 같이 바다를 향해 방파제 수중 아랫부분에 뚫려 있는 구멍은 파도를 흡수하기 위한 것이다. 하지만 거센 해류의 에너지가 상쇄되지 않은 채 해안에 도달하는 까닭에 커다란 돌들이 구멍으로 밀려들어가 구멍을 가로막게 되었다. 이에 따라 구멍은 제 기능을 하지 못하고 있을 뿐 아니라 돌들의 충격으로 인해 바다 속 콘크리트 구조물이 훼손되고 있다.

환경적인 부작용도 존재한다. 앞서 언급한 방송에서는 매립 후 20여년이 지난 탐동 앞바다의 모습을 확인하기 위해 수중탐사를 시행하였다. 그 결과 탐동 매립지에서 100미터 정도 떨어진 바다 속은 이미 갯녹음 백화현상이 심각하다는 것을 밝혔다. 갯녹음 백화현상이란 연안 암반 지역에서 해조류가 사라지고 흰색의 무절석회조류가 달라붙어 암반지역이 흰색으로 변하는 것을 말한다. 이는 수산생물에게는 먹이가치가 별로 없기 때문에 갯녹음이 생기면 해조류를 먹는 어패류도 사라져 버려 어장이 황폐화된다.

제5절 소결

연안은 크게 사질해안, 암석해안, 인공해안으로 구분된다. 2장에서 조사한 연안완충공간 계획을 제주도 연안에 적용하기 위해 제주도 해안을 사질해안, 암석해안, 인공해안으로 구분하여 조사하였다.

사질해안의 경우에는 연안습지(모래사장), 해안사구, 해안림이 연결이 중요하기 때문에 투수층으로 구분되는 녹지와 불투수층으로 구분되는 인공시설물의 구성비율과 순서를 조사하였다. 그 결과 17곳 중 3곳을 제외하고 모두 불투수층으로 투수층간의 연결이 단절되어 있으며, 해안도로와 해안사구 훼손으로 인해 토사순환이 이루어지지 않고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 3곳을 제외한 14곳은 두 가지 범주로 나눌 수 있었는데, 불투수층의 비율이 30%미만인 두 번째 그룹(금능·협재, 김녕, 하도리 해변)의 배후에는 산과 임야 및 농지, 해안림, 공원이 넓게 분포하고 있어 연안완충공간을 조성하기 유리하다. 이를 통해 토사순환 시스템을 복원할 경우 제주도 연안의 투수층 및 회복력을 증대시켜 풍수해의 영향을 완화시킬 뿐 아니라 생태계와 경관을 풍부하게 한다.

암석해안은 재해의 영향이 높을 것으로 예상되는 연안육역 내 건축물의 위치, 거주하는 인구 수 등을 파악하고 재해의 피해를 최소화할 수 있도록 계획해야 한다. 이를 위해 해안침수예상도(국립해양조사연구원, 2010)를 참고하여 가장 높은 위험이 예상되는 지역은 김녕과 표선지역인 것을 확인하였다. 해당 구간에 대해 우회로를 개설하거나 보행자 대피소를 마련하고, 기존 건물의 위치를 수정하는 등 피해를 최소화 할 수 있도록 해야 한다.

인공해안의 항구와 마을 어촌계 선착장은 모두 해일의 영향을 받을 것으로 예상되고 있다. 선행연구 및 이론고찰의 내용을 종합해보았을 때, 인공해안의 재해 완화는 기존 제방을 보강하는 것이 가장 경제적이다. 하지만 생태적으로 많은 부작용을 초래하기 때문에 기존 방재 체제에 수정을 가해야 한다.

인공해안 중 연안재해와 그에 따른 유출수로 인해 지속적인 피해가 발생하는 곳 중에 가장 심각한 피해가 계속되는 곳은 제주시의 탐동 매립지구이다. 제주도 동지역은 빈번한 침수, 범람의 피해가 일어나 2009년 12월 재해위험개

선지구로 지정되었다. 탐동 매립지구는 해양에너지를 그대로 받도록 일자형 구조로 이루어져있다는 것이 큰 문제이며, 해당 매립구역 주변이 유출수를 감소시키지 못해 2차 피해가 일어난다는 것 또한 문제이다. 해당 구역의 지형 구조를 수직적이지 않은 구조로 변경하여 해양에너지를 분산시키고, 투수지 비율을 증가시켜 유출수를 줄이는 방안이 필요하다.

제4장 연안완충공간 계획

제1절 계획의 방향 및 세부 계획 대상지 선정

제주도의 중요한 관광의 경제적 가치, 생태적 가치를 고려하여 재해를 완화하는 계획을 수립한다. 연안을 지형별로 분석한 현황과 분석한 취약점에 따라 연안 별 계획방안을 제시한다. 이 중 우선적으로 계획이 필요한 세부 계획 대상지를 선정하며, 계획은 이론적 고찰을 통해 도출한 <표 2-4>의 적용 방안을 적용한다. 계획을 통해 재해영향 완화 뿐 아니라 관광과 경관의 이점을 증진시키는 것을 기본 방향으로 제안한다.

계획에서 명시하는 ‘재해에 취약한 지역(구역)’은 국립해양조사원(2011)의 해안침수예상도를 근거로 하여 높은 침수심에 예상되는 구역, 혹은 넓은 지역에 침수가 예상되는 구역을 의미한다. 침수심은 6등급으로 표현되었으며 간격은 0.5m로 최고 침수심 등급인 6등급은 3.0m 이상이다<표 4-1>. 표에서 보이는 바와 같이 범람수위가 3.0m 이상일 경우 일반 단층 가옥이 잠기게 된다.

<표 4-1> 침수심 구분 색상 범례

침수심 구분	색상(가옥침수고)
3.0m 이상	Red
2.5-3.0m 미만	Dark Blue
2.0-2.5m 미만	Blue
1.5-2.0m 미만	Light Blue
1.0-1.5m 미만	Green
0.5-1.0m 미만	Yellow
0.0-0.5m 미만	Light Yellow

출처: 국립해양조사원, 해안침수예상도.

1. 사질해안

사질해안의 경우 투수층의 비율과 구성 분석을 통해 세 그룹으로 분류하였다. 첫 번째 범주로 분류되었던 지역은 현 상태로서도 Soft protection의 역할을 수행하는 곳이다. 이곳은 방재 역할 뿐 아니라 경관의 가치가 높아 인간의 출입 및 개입에 따라 주변 환경이 변할 수 있으므로, 지속적인 환경 모니터링

을 통해 해안침식이 가속화 되지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 이와 더불어 연안 개발이 지형적, 환경적 특성을 파괴하지 않도록 일부 제한 할 필요가 있다.

사실해안 자연 연안을 조성하는 데에 상대적으로 높은 가능성이 있는 곳은 두 번째 범주로 분류되었던 하도, 금능·협재, 김녕 해변이다. 이 중 금능·협재, 김녕 해변의 경우 두 곳 모두 해안침수예상범위가 좁지만 연안재해노출지수는 4등급으로 다소 높고, 연안민감지수는 5등급으로 매우 높아 계획이 필요한 적합지라 판단된다. 금능·협재와 김녕 해변 중 금능·협재 해수욕장의 규모가 더 크고 주변에 상업지가 형성되어 있어 김녕 해변보다는 금능·협재 해변을 찾는 관광객이 더 많다. 이에 따라 세부 계획의 대상지를 금능·협재 해변으로 선정한다.

하도리 해변은 재해노출지수가 5등급으로 매우 높으며 해안에 바로 맞닿아 제주특별자치도 지정 철새도래지가 형성되어 있다. 철새도래지는 현재 생태습지를 복원하기 위해 환경부 자연정책과의 감독 아래 공사 중에 있다. 하지만 해변과 습지 사이에 경성화 된 도로가 놓여있어 생태적인 해수와 담수의 교류를 방해하고, 사빈의 유실도 촉진시키고 있어 연안의 회복력을 저해시키고 있다. 이러한 현황으로 인해 세부 계획 대상지로 선정한다.

2. 암석해안

우회로를 개설하거나 기상조건에 따라 기존 도로의 차량 통행을 제한하는 것이 방법이 될 수 있으며, 보행자 대피소를 마련하고, 해일 위험의 안내판을 설치해야 한다. 미래에 더욱이 가시화 될 해수면 상승 현상과 이에 따른 높은 너울성 파도는 관광객들에게 색다른 경관의 요소가 될 수 있어 전망대와 같은 시설을 설치할 수 있다. 김녕 지역의 경우 풍력발전기가 해상과 해안 곳곳에 위치해 있어 자연경관과 인공경관의 조화가 이색적이다. 이러한 경관의 특성에 따라 해일의 고 위험 암석해안 중 김녕 지역을 대상으로 세부 계획안을 제안한다.

3. 인공해안

인공해안의 경우 기존의 제방 및 둑, 옹벽 등 물리적 구조물이 보통 콘크리트, 아스팔트와 같은 완전한 불투수층으로 이루어져 있다. 구조물을 암석 혹은 테트라포트와 같이 물이 투과될 수 있는 재료를 사용하여 재건설 하는 것이 방법이다. 주변 사질해안으로의 해류를 고려하여, 어류의 이동과 사빈 퇴적을 방해하지 않도록 계획하는 것이 가장 중요하다.

이러한 계획은 재해 발생 시 유출량을 효과적으로 감소시킴은 물론 토사 혹은 어류의 이동을 상대적으로 덜 방해하고 전복, 굴, 소라 등 갑각류가 서식할 수 있는 환경을 제공하여 생태계를 풍부하게 한다. 너울성 파도의 영향을 완화시키기 위해 제방의 건설이 새로이 필요한 해안지역, 해일의 위험이 있는 지역의 문화시설, 관광시설에는 암석을 이용한 제방을 쌓아 수려한 해안경관을 형성하는 기능, 산책로나 자전거 도로의 기능을 할 수 있도록 한다.

제주시 탑동 매립지구는 현재 불투수층으로 이루어져 있어 재해의 영향을 증대시킴은 물론 확실적인 해안 경관을 형성하고 있다. 매립지는 현재 주차장, 유원지 등의 기능이 입지해 있는 공공용지이다. 해당 구역이 재해위험개선지구로 지정되어 있지만 계속해서 재해로 인한 피해가 가중되고 있다는 점, 정부의 집행력으로 해당 지구의 계획이 가능한 공공용지라는 점을 반영하여 인공해안의 세부계획 대상지로 선정한다.

제2절 세부 대상지 계획

사질해안으로는 금능·협재 해변과 하도리 해변, 암석해안으로는 김녕 지역, 인공해안으로는 제주시 탑동지역이 그 대상지이다. 계획의 방향에서 언급한 원칙을 따르되, 각 대상지의 지형적 요소 외에 생태적 특성, 사회 경제적 특성, 대상지 주변의 연안 구성 등을 면밀하게 고려한다.

1. 금능·협재 해변

1) 일반사항

금능·협재 해수욕장은 제주시 한림읍 협재리에 위치하고 있다. 현무암층 위에 패사가 퇴적되어 형성된 사질해안으로 제주 최대의 사빈이 펼쳐져 있으며 이는 완만한 경사로 이루어져 있다. 해수욕장 앞에는 비양도라는 화산섬이 위치해있어 태풍, 해일의 영향을 1차적으로 감소시켜 재해에 비교적 덜 취약하며, 토사가 퇴적되기 좋은 환경의 사빈이다.

해안선의 길이는 1.4km이며, 이에 해당하는 연안육역범위는 약 70㎡이다. 이 중 사빈이 차지하는 비율은 12%이며, 해안사구가 금능 해수욕장과 협재 해수욕장 사이에 위치해있다. 본 지역은 오랜 기간 해수욕장으로 이용되었기 때문에, 해안사구는 일부 전사구 부분을 제외하고 훼손되었다. 사구 위에는 도로와 상업지, 한림공원이라는 아열대 식물원으로 구성되어 있다. 한림공원을 경계로 그 후면은 산림 상태로 유지되어 있기 때문에 해안사구의 원 지형이 많이 보존되어 있으며, 해안림이 조성되어 있다.

<표 4-2> 금능·협재 해변의 전경



출처: 2013년 11월 13일 촬영



〈그림 4-1〉 대상지 항공사진

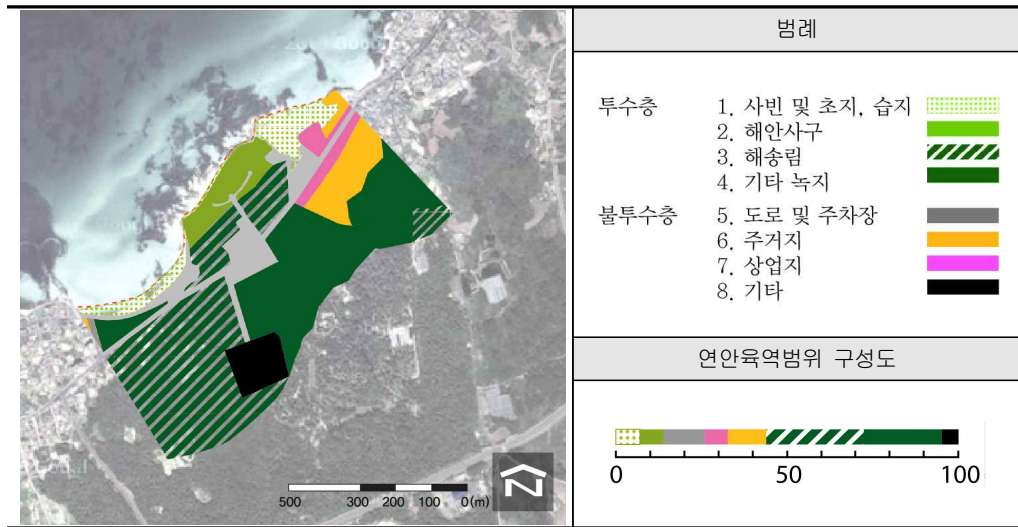
출처: 구글맵 재구성

2) 문제점

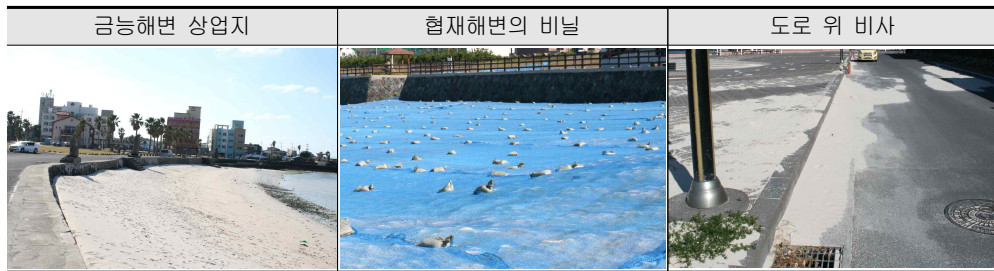
금능·협재 해변은 앞서 언급한 바와 같이 환경적으로 토사가 퇴적되기에 유리한 환경임에도 불구하고 해안 침식이 계속되고 있다. 이를 막기 위해 매년 10월부터 다음해 6월까지 해변에 비닐을 덮어놓고, 해수욕장 개장 전인 6월에는 모래를 보충한다. 이러한 침식의 원인은 거센 바람과 해수면 상승의 영향도 있지만, 토사순환이 제대로 이루어지지 않는다는 점도 있다.

토사의 순환을 가로막는 구조물은 바로 옹벽과 도로와 같은 불투수층이다. 본 대상지의 사빈에 맞닿아 옹벽과 도로가 위치해 있으며, 이는 해송림, 해안사구와의 축을 가로막고 있다. 이로 인해 토사순환이 이루어지지 않아 비사가 해변에 근접한 주차장과 도로 곳곳에 쌓여있다. 금능, 협재 두 해변 사이에는 협재 사구의 전사구가 위치해 있는데, 해변과 사구 사이에도 옹벽이 건설되어 있다. 옹벽은 주차장의 건설과 사빈의 침식을 막기 위해 건설되었으나 토사의 횡적인 이동과 종적인 순환을 모두 가로막고 있다<표 4-3, 4-4>.

<표 4-3> 금능·협재 해변의 토지구성표



<표 4-4> 금능·협재 해변



출처: 2013년 11월 13일 촬영



<그림 4-2> 금능 협재 해변의 전경

출처: 네이버 지도, 항공뷰.

3) 계획 방안

계획은 투수층간의 연결을 위해 불투수층의 비율을 최소화하거나, 불투수층의 구조를 변경하는 방향으로 진행한다.

우선 전사구와 사빈간의 용벽을 제거하여 금능 해변의 사빈과 협재 해변의 사빈을 연결시킨다<그림 4-3>. 해수욕장 입구에는 주차장과 야영장, 안내소가 위치해 있는데 이는 불투수층으로 이루어져있다. 해당 불투수층을 나무 데크나 돌로 재구성하고, 곳곳에 재식을 통해 바람에 날린 흙을 모을 수 있도록 한다. 이는 토사의 순환을 도울 뿐 아니라 침수 발생 시 유출수를 저감시키고 상대적으로 생태축이 확장될 수 있도록 한다.

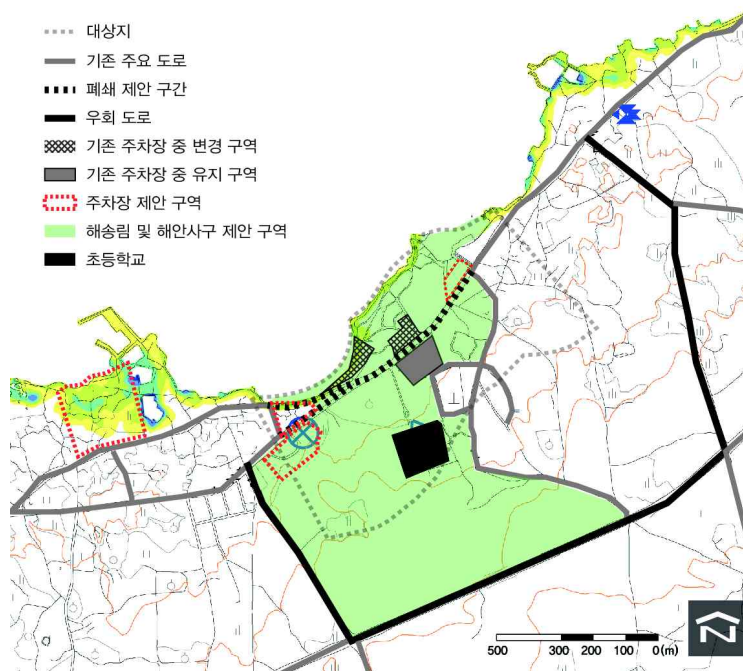


<그림 4-3> 금능해변의 현재 전경과 연안완충공간 형성 시 전경

출처: 위- 201년 11년 13 촬영. 아래- 촬영본 재구성.

다음으로 현재 전사구 구간에 위치한 주차장을 이주시킨다. 주차장 이전에는 두 가지 대안이 존재한다. 첫 번째는 양 사빈의 끝 지점으로 이주시키는 것이다. 두 번째는 해변의 서쪽 주거지로 이주시키는 것이다. <그림 4-4>에 표시된 해변 서쪽의 주거지는 재해발생 시 침수의 위험이 예상되는 곳이기에 거주지를 이전시킨 후 주차장으로 사용할 수 있다. 주차장 계획 시, 아스팔트가

아닌, 목재 데크나 석재 기둥을 활용한 필로티 구조로 계획하여 토사 순환을 방해하지 않도록 한다. 전사구 구간은 양 해빈 사이를 잇는 산책로로 계획한다.



<그림 4-4> 금능·협재 해변의 계획안

해안도로가 해안사구와 사빈의 연계를 가로막고 있기 때문에, 우회로를 확보하거나 도로를 교량화 하여 사구와 사빈간의 토사순환이 가능하도록 한다. 금능·협재 해수욕장의 배후에는 한림공원과 야영장이 있으며, 곰솔나무 군락지가 형성되어 있다. <그림 4-4>에 표시된 구간은 상업지나 주거지가 접해있지 않기 때문에 이 구간의 도로를 폐쇄하고, 우회로를 제안할 수 있다. 기존 도로는 폐쇄하여 식물원과 곰솔군락지로 이어지는 산책로로 제안할 수 있다.

사구를 복원하게 되면 지형적으로 급경사 구간이 생기게 된다. 이때의 경사를 이용하여 사구에 위치한 상업지구를 필로티 구조로 변경한다. 함덕 해안의 일부 건물은 이미 이러한 형태로 계획되어 있다<표 4-5>. 상업지와 사빈을 연결하는 계단, 보행로 또한 석재로 구성되어 있어 환경에의 부작용을 최소화하고 있다.

<표 4-5> 함덕 해변의 전경



출처: 2013년 10월 17일 촬영

마지막으로 사질해안으로의 해류를 방해하는 해안 주변 인공구조물의 위치 혹은 구성 재료를 수정한다. 이 계획은 많은 비용을 발생시키지만 장기적인 관점에서 해수면 상승 영향으로 인해 더욱 가속화 될 해안침식과 매년 진행하고 있는 양빈사업의 비용을 고려한다면, 환경적으로 더 많은 이득이 예측된다. 본 계획은 해양공학자, 해양생태학자 등 관련 분야의 전문가들과 협업하여 계획이 진행되어야 한다.

4) 계획의 파급효과 및 장점

본 대상지의 계획은 사빈으로부터 배후의 자연 지대까지 이르는 육역범위에 불투수층을 최소화 하는 데에 주안하고 있다. 불투수층의 비율을 줄이고, 투수층간의 연결을 도모하여, 토사순환이 원활하게 이루어지도록 하여, 일상적으로 발생하는 해안침식을 완화시킬 수 있다. 또한, 해수가 범람할 경우, 투수층은 물을 지하로 투과시켜 도시 내로 해수가 유출되어 피해를 입히는 것을 저지하거나, 그 시간을 지연시킨다.

제주도는 풍수해의 발생이 잦은 지역이므로, 공간 계획 시 비일상적으로 발생하는 재해에 대해 고려해야 한다. 해변에 해안사구 복원 및 해안림 조성을 통해 재해발생 시 <그림 2-9>에서 보이는 바와 같이 피해를 완충하는 기능을 향상시킬 수 있다.

또한, 연안완충공간은 제주도의 동식물의 서식처가 되어 생태적인 측면에서 더욱 풍부한 환경이 될 뿐 아니라, 지역 특성이 드러나는 자연 경관을 통

해 생태 관광지로서의 가치가 증가할 것이다. 해수면이 상승할 시 배후의 한림공원과 곰솔나무군락지는 새로운 해변이 될 것이며, 해당 지역의 자연 보전 및 해안 관리를 통해 해수면이 상승하더라도 계속해서 회복력 높은 연안을 유지할 수 있다.

2. 하도리 해변

1) 일반사항

하도리 해변 전면에는 우도가 위치해있다. 이에 따라 금능·협재 해변과 같이 사빈이 완만하게 형성되어 있어 수심이 깊지 않으며 토사가 퇴적되기에 유리한 환경이다.

하도리 해변의 구성은 매우 독특하다. 다른 해수욕장과는 달리 주변에 상업지가 위치해있지 않다는 것이 특징이며, 주변에 작은 취락을 제외하고 모두 밭으로 이루어져 있다. 사빈은 드넓게 펼쳐져 있지만, 사빈에 바로 맞닿아 도로가 인공적으로 축조되어 있으며, 도로는 현재 올레길과 차로로 이용되고 있다. 보행로와 자전거도로는 따로 분리되지 않은 채 차로에 바로 면하여 있다.

도로의 배후에는 습지가 형성되어 있는데, 이 습지는 제주특별자치도 지정 철새도래지이다. 이곳은 지하수와 해수가 만나는 곳으로 숭어, 검정망둑, 파래, 게류, 새우류 등 다양한 종류의 민물고기가 서식하고 있다. 다양한 어종이 서식하고 있어, 이로 인해 세계적인 희귀종 저어새를 비롯하여 천연기념물인 큰고니, 참매, 황새, 흑두루미와 환경부 지정 멸종위기인 큰기러기, 물수리, 말뚝가리 등 철새가 찾아온다. 하도리 해변은 다른 해변에 비해 생태적인 특성이 두드러진다고 할 수 있다.



<그림 4-5> 대상지 항공사진

출처: 네이버 지도 재구성



<그림 4-6> 현재 하도리 지역의 전경

출처: 네이버 지도, 항공뷰.

2) 문제점

하도리 해변의 가장 큰 문제점은 해변 배후에 위치한 습지에 있다. 우선 인공적인 도로가 습지와 바다를 가로막고 있다는 것을 언급할 수 있다<표 4-6>. 이는 해수가 담수에 큰 영향을 주지 못하도록 하는 사주의 역할을 하고

있지만, 도로가 습지 전면의 전체 구간을 가로막고 있어 담수와 해수의 생태계에 자연스러운 교류를 가로막고 있다고 할 수 있다. 또한 생태습지와 바다 사이로 자동차가 통행을 하기 때문에 환경적으로 이롭지 않다고 할 수 있다. 해수면 상승의 영향과 재해의 영향을 고려할 경우 해당 도로는 위험에 노출될 뿐 아니라 재해로 인해 도로가 파괴될 경우 해수가 급작스럽게 유입되어 민물의 생태계를 해칠 수 있다.

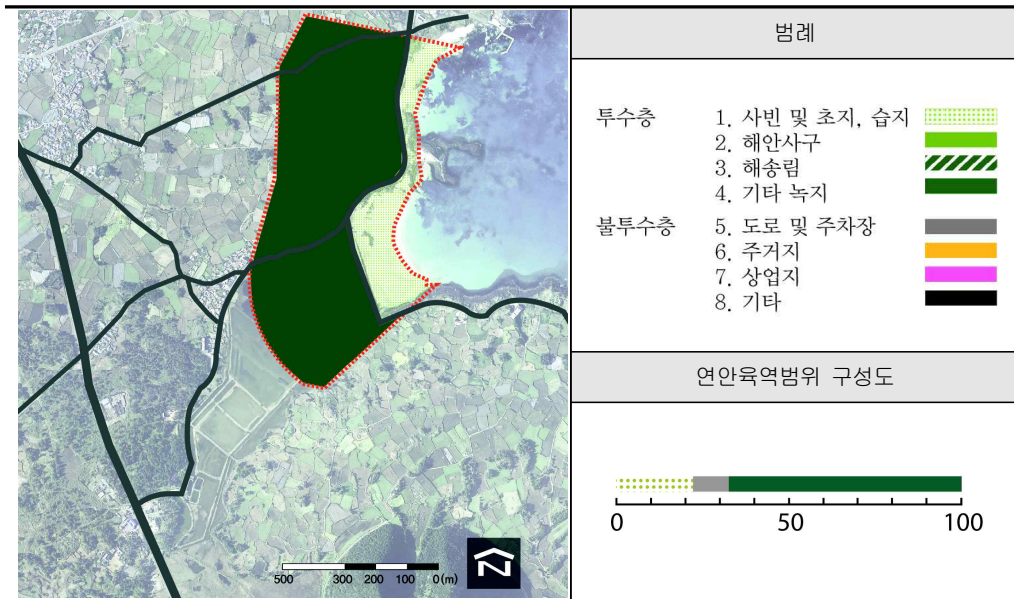
습지는 희귀한 조류가 계절에 따라 서식하는 곳이지만 규모가 작은데다가 습지의 북서쪽이 모두 인공적인 도로에 맞닿아 있어 생태습지의 환경적인 측면에서 부정적이라 판단된다. 주변에 갈대숲이 조성되어 있지만 식재로 차폐되지 않은 곳들도 곳곳에 있어 철새들의 은신처가 되기에 부족하다. 정부에서도 하도리 철새도래지의 환경에 대한 문제를 인식하고, 자연 친화적인 환경을 조성하기 위해 2013년 10월부터 환경부 자연정책과 감독 하에 공사가 시작되었다. 공사 내용은 식물원 복원, 습지 복원, 인공 식물섬 조성, 기존 수림대 정비, 관리 및 탐방동선 조성, 휴게 공간 조성이 있다. 이러한 계획 시 해수면 상승 혹은 재해의 영향을 반영한다면, 장기적인 관점에서 지속가능한 철새도래지가 될 것이다.

<표 4-6> 하도리 해변과 습지 사이에 위치한 다리



출처: 2013년 10월 17일 촬영

<표 4-7> 하도리 해변의 토지구성표



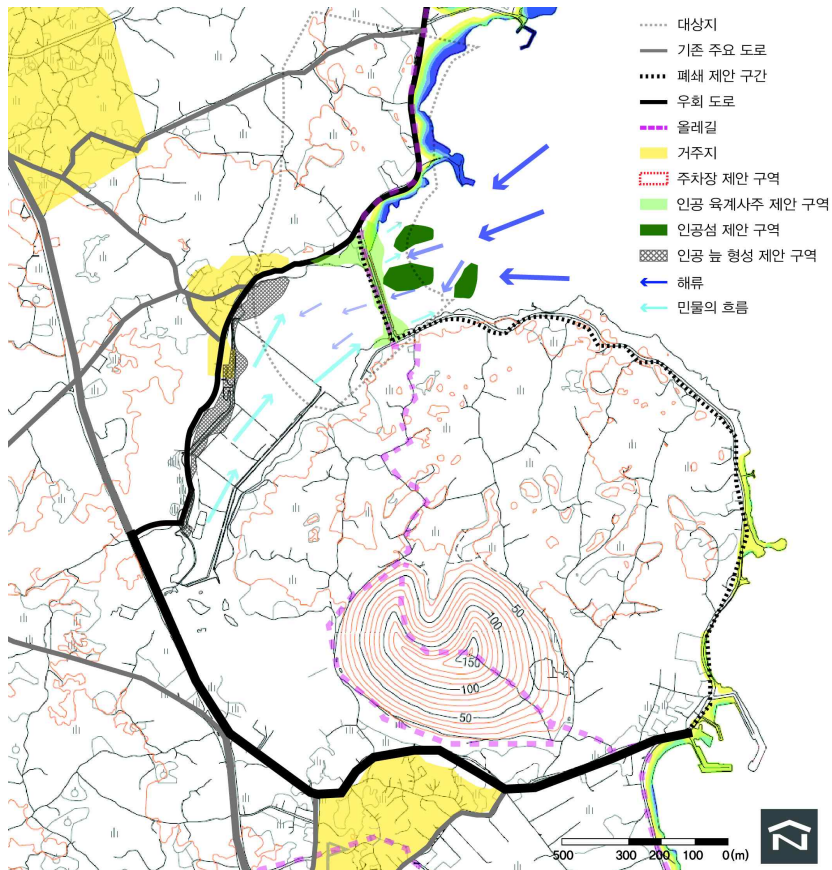
3) 계획 방안

하도리 해변이 생태적인 특성을 갖고 있는 만큼, 해당 부지가 더욱 환경 친화적이며 해수면 상승으로 인한 재해의 영향에도 안전할 수 있도록 하는 것이 계획의 큰 방향이다. 도로와 도로를 지지하기 위해 축조된 옹벽을 제거하고, 인공적인 사주 환경과 인공 섬을 조성한다. 하도리 해변은 수심이 얕고, 우도까지의 토양 경사가 가파르지 않아 인공 육계사주 및 인공 섬 조성이 가능하다. 대상지에서는 2.0m 이상의 침수심이 예상되기에 인공 섬 조성 시 섬이 침식되어도 주거지, 도로 등에 피해를 주지 않도록 계획해야 한다<그림 4-7>.

현재 진행되고 있는 공사의 방향을 반영하여 인공 식물섬 조성과 습지 복원이 포함하고자 하였다. 생태계는 주변 환경에 동적인 영향을 받기 때문에 환경 계획 시 주변 지역의 환경적인 여건까지 파악 및 고려해야 한다. 이에 따라 인공섬을 조성할 때, 해류의 흐름을 완전히 가로막지 않도록 해야 한다. 인공섬과 인공 육계사주는 해류의 속도를 늦추고, 민물을 보호하는 역할을 하

도록 해야 한다.

도로는 대상지의 생태성에 부정적인 영향을 미치므로, 도로를 제거하고 우회로를 개설한다. 도로를 제거한 후 <그림 4-7>에서 보이는 바와 같이 우회로를 확보한다. 우회로 주변에는 인공 늪을 조성하고, 폐쇄하는 구간의 도로는 보행자 전용 생태탐방로로 계획하도록 한다. 해당 지역은 철새도래지라는 특성으로 인해 보행전용 교량을 조성할 경우 철새 관측 지점, 탐방로, 올레길로 이용 될 수 있다.



<그림 4-7> 하도리 해변의 계획안

4) 계획의 파급효과 및 장점

인공 섬 조성은 호로닝언 지역의 ‘Offensive Coastal Defense’ 계획안과 같은 목적을 하고 있다. 인공 섬은 우도와 함께 연속된 경관을 형성하며, 파랑

과 태풍의 영향을 완화시켜 배후지를 보호한다. 인공섬과 인공 사주의 배후에는 철새들이 서식할 수 있는 자연친화적인 석호 환경이 조성될 것이다. 또한 지하수의 수질을 자연적으로 개선되며, 하도리 해변으로의 퇴적이 자연스럽게 이루어질 것이다.

풍수해나 너울성 파도로 인해 섬이 점차 침식하게 되면, 연안에 완경사를 형성하고 자연적으로 모래 둔덕을 형성하고, 이는 인공 육계사주를 강화하여 섬이 침식되었을 시에도 연안 환경에 긍정적인 역할을 한다. 시간에 따른 침식 현상은 경관의 다양성을 형성하며, 지역에 있어 관광의 가치, 교육적 가치, 생태적 가치를 증대시킨다.

3. 김녕 지역 암석해안

1) 일반사항

김녕 지역 암석해안<그림 4-8> 구간은 2.27km으로 암석이 드넓게 펼쳐져 있다. 구간 내에서 해안도로를 중심으로 해안선까지 펼쳐진 암석의 최대 너비는 380m이다. 풍력발전기성능평가단지와 한국에너지기술연구원이 위치해있는 에너지 연구 중심의 지구로, 해역과 육역 곳곳에 풍력발전기가 위치해 있다. 해안도로 배후에는 연구소 건물 두 채를 제외하고는 모두 밭으로 이루어져 있어 재해에 민감하지 않은 지역이라 할 수 있다.



<그림 4-8> 대상지 항공사진

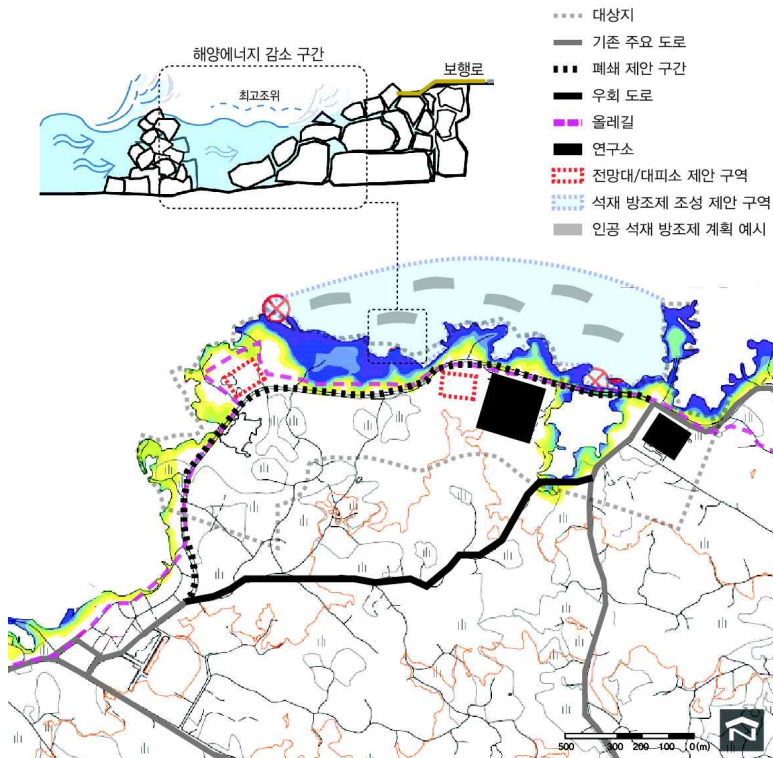
출처: 네이버 지도 재구성

2) 계획 방안

도로는 특히 높은 침수심이 예상되어 해당 구간에 대한 우회로를 확보한다. 배후지에 해당하는 경작지에는 사이사이에 도로가 이미 개설되어 있어, 이를 우회로로 사용할 수 있다. 우회로는 이미 풍력발전기성능평가단지와 한국에너지기술연구원과 연결되어있어 해당 시설을 연결하는 데에 있어 새로운 도로를 개설하지 않아도 된다는 경제적인 장점이 있다. 하지만 우회로가 기존 마을 주민들의 농업을 위한 일시적인 주차공간으로 사용된다는 점에 있어서 도로의 확폭이 요구될 수 있다.

폐쇄하는 구간은 올레길로서 보행자와 자전거 이용자가 통행이 잦다. 이에 따라 인도(올레길)와 자전거도로를 안전하게 분리하여 폐쇄구간을 정비하는 것이 필요하다. 침수심이 높을 것으로 예상되는 구간이므로, 이에 대한 알림판을 설치하고, 급작스러운 재해가 닥치더라도 보행자가 안전하게 대피할 수 있는 대피소를 계획한다.

높은 침수심이 예상되는 지역이므로, 암석해안의 생태계 보호를 위해 암석으로 이루어진 방조제를 조성한다. 인공적인 암석 방조제는 <그림 4-9>에서 보이는 바와 같이 파력과 같은 해양에너지를 감소시켜 전복, 굴, 소라와 같은 갑각류를 포함하여 해조류, 어류를 보호한다. 이때 주변 사질사빈으로의 해류를 파악하여 사빈의 퇴적에 부정적인 영향을 미치지 않도록 한다. 인공 암석 방조제 주변으로 생태계가 풍부해지지게 된다면 이를 관광자원화 하여 올레길과 연결된 전망대와 낚시터, 휴게공간을 계획할 수 있다.



<그림 4-9> 김녕 지역의 계획안

3) 계획의 파급효과 및 장점

김녕 지역은 주거 중심지이기 때문에, 올레길이 조성되어 있고 해변이 마련되어 있지만 마을의 랜드마크가 없다. 해수면 상승의 영향으로 인해 거세지는 파도와 어우러지는 풍력발전기는 김녕 지역 특유의 해양 경관이 되어, 이러한 경관을 감상할 수 있는 전망대가 마을의 주요한 랜드마크가 될 수 있다. 인공 암석 방조제 또한 마을의 랜드마크 역할을 할 수 있다.

인공 암석 방조제 조성은 앞서 하도리 해변에서 인공 섬을 조성한 것과 같은 목적으로 해수면 상승에 의한 영향으로부터 암석해안에 서식하고 있는 갑각류 및 해조류 등 생태계를 보호하기 위함이다.

4. 제주시 탐동 매립지

1) 일반사항

제주시 탐동은 1988년에 약 50,000평의 규모로 매립되었다.⁶⁴⁾ 해변의 자연 자원 대신 공용 농구장과 산책로, 공연장, 호텔, 마트 등이 있는 광장이 위치해있다<그림 4-10>. 매년 침수피해가 발생하여 재해위험개선지구로 지정되어 있다. 광장의 서쪽에는 횃집골목이 위치해 있으며, 광장의 남쪽에는 3-4층 높이의 상업지와 주거지가 혼재되어 있다.



<그림 4-10> 제주시 탐동 재해위험지구와 상습침수구역

출처: 뉴시스, "제주시, 2013년까지 탐동 매립지 월파피해방지 사업추진," 『뉴시스』 (2010년 9월 24일)



<그림 4-11> 현재 제주시 탐동 매립지 전경

출처: 10월 17일 촬영

64) 연합뉴스, "濟州탐동매립지, 관광문화시설 본격 착수," 『연합뉴스』 (1995년 2월 28일).

2) 문제점

매립 이후 매 태풍, 풍랑, 호우 발생 때마다 월파 피해, 침수 등 피해가 발생하고, 탑동 방파제 하부시설의 손상이 되풀이 되고 있어 지속적인 보수·보강 공사가 불가피하여 경제적으로 큰 비용을 초래하고 있다.⁶⁵⁾ 문제점은 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 문제는 거센 해류의 에너지가 모두 인공 해안까지 그대로 전달된다는 것과, 두 번째는 해당 재해위험개선지구는 불투수층으로 되어 있어 유출수가 피해를 더 가중시키고 있다는 것이다.

<표 4-8> 제주시 탑동의 전경



출처: 2013년 10월 17일 촬영

3) 계획 방안

인공해안은 생태적인 상호작용이 차단되는 공간이다. 자연연안과 상반되는 특성을 갖고 있는 연안이기에 자체적인 회복력 및 투수력이 없다고 할 수 있다. 인공해안에서의 재해의 영향을 완화하기 위한 방안은 앞서 언급하였듯 기존 제방을 강화하는 것이 가장 효과적이다. 기존 경성호안의 단점 즉, 환경에의 부하를 최소화 하는 방향으로, 앞서 제기한 두 가지 문제점에 대한 계획방안을 제시하고자 한다.

매립지에 도달하는 해양 에너지를 파쇄하기 위해 자연 암석 해안과 같은 환경을 조성한다. 이를 위해서는 기존 방파제와 하부구조물의 수직 벽 전면에 입자가 큰 암석을 배치하도록 한다. 파력을 효과적으로 상쇄하기 위해서는 새

65) 2010년 방파제 하부에 높이 0.85m, 길이 5.8m 규모의 굴이 생길 정도로 심각하게 훼손되었다. 이에 방파제 붕괴 가능성이 제기되어 호안 정밀안전진단을 실시하였다. 그 결과 긴급 보수·보강이 필요한 판정이 내려져 8억 원을 들여 공사를 진행했지만 보수·보강공사 이후에도 하부구조물에서 추가 손상이 발견되는 등 악순환이 계속되고 있다.

출처: 김경필, 앞에 든 자료.

로운 제방 건설이 필요하다. 하지만 기존의 일자형 콘크리트 제방이 아닌 테트라포트 혹은 암석으로 구성된 좁은 너비의 제방을 여러 곳에 분산시켜 환경 부하를 최소화한다. 이는 해양에너지를 감소시켜 방파제 손상 및 재해로 인한 피해를 줄일 것이라 예상한다.

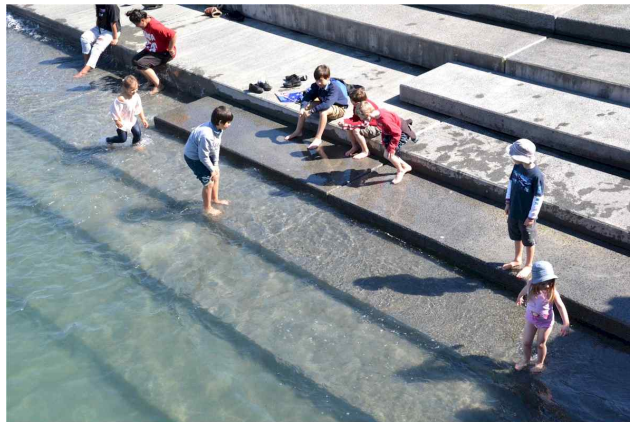
인공해안의 경우 재해로 인한 직접적인 피해를 줄이기 위해서는 불투수층의 면적을 낮춰 도시홍수 및 범람의 피해를 완화시키는 것이 가장 중요하다. 매립지의 워터프론트를 공원화하는 것이 불투수층의 면적을 감소시키기에 가장 보편적으로 쓰이는 방안이다. 그 이유는 공원이 도시의 미관 개선, 공공서비스 제공 등의 부가적인 장점이 있기 때문이다. 해당 지역의 바닥은 아스팔트, 시멘트, 우레탄, 벽돌로 이루어져 있다. 공원 내부에는 유출수를 줄이기 위해 해안림을 조성하고, 산책로 주변에 다양한 식물들을 심는다<그림 4-12>.

수직 벽의 구조를 계단식으로 바꿔, 계단을 통해 물가로 내려갈 수 있도록 설계한다<그림 4-13>. 이러한 구조는 해양에너지를 분산시킬 뿐 아니라 바다로의 접근성을 높일 수 있을 것이라 예상한다.

워터프론트 배후에 0.5m 미만의 침수가 예상되는 구역은 현재 상업지와 주거지이다. 해당 기능을 배후지로 이주시켜 피해를 최소화 하도록 한다. 이주 후에는 해풍에 강한 나무를 심어 배후의 기능을 보호하면서도 워터프론트와 시각적인 연계를 이루도록 한다.



<그림 4-12> 제주시 탐동 매풍지 계획안



<그림 4-13> 계단형 친수공간

http://joelcayford.blogspot.kr/2011_09_01_archive.html

4) 계획의 파급효과 및 장점

제주시는 5년마다 종합정비계획을 통해 자연재해위험지구의 재해방지사업을 추진하는데, 매년 선형 제방이나 추가적인 매립이 대안으로 제기되고 있다. 하지만 연안재해의 영향을 최소화하기 위해서는 환경과의 조화를 모색해야 한다. 자연재해위험지구의 재해방지사업은 국비를 최대 60%까지 지원받을 수 있기 때문에⁶⁶⁾ 지방정부에서는 장기적인 관점에서 재해를 완화할 수 있는 다양한 방안을 모색해야한다.

본 계획안에서 제시하는 제방의 분산 건설과 계단식 워터프론트 조성은 인공적으로 암석 해안과 같은 해안선의 굴곡을 형성하여 단계별로 파력을 상쇄하는 역할을 할 것이라 예상된다. 월파 혹은 해일 발생 시, 계단을 통해 해수가 유입되기도 하지만 유출구의 역할도 하기 때문에 도시로 유입되는 염해를 줄일 수 있다.

현재 친수공간은 방파제의 높이가 높고, 아스팔트와 같은 불투수층으로 이루어져 있어 여느 도시 내부의 경관과 다르지 않다. 새롭게 조성되는 수변 공원은 제주도의 아열대성 기후에 알맞은 수종으로 구성되어 제주도 주민들의 삶의 질을 향상시키는 쾌적한 공원이 될 뿐 아니라 관광객에게도 흥미로운 장소가 될 수 있다.

66) 허호준, “제주 탑동매립지, 자연재해 위험지구로 지정,” 『한겨레 뉴스』 (2010년 1월 6일)
<http://www.hani.co.kr/arti/society/area/397404.html>

제5장 결론

본 연구는 연안 지형이 갖고 있는 재해완화기능에 주목하여 대상지에서의 연안완충공간 계획에 대한 적용 가능성을 검토하고, 대상지 연안의 지형 특성을 고려하여 연안완충공간 계획을 제안하는 것을 주요 연구 목적으로 하였다. 연안의 지형은 사질해안, 암석해안, 인공해안으로 구분하였으며, 계획안을 제시하는데 있어 재해 완화의 기능 뿐 아니라 경관의 개선, 생태계 강화의 측면을 고려하고자 하였다.

연안완충공간의 특성과 장단점, 경성호안의 특성과 장단점을 고찰한 결과 제주도는 경성호안의 방안보다 연안완충공간 계획이 더욱 적합하다고 판단되었다. 그 이유는 제주도의 대부분의 기능은 연안 저지대에 집중되어 있으며, 주요 산업인 관광기능 또한 연안 저지대에 밀집해있어 계속해서 제방을 쌓아 올리는 것 보다 연안완충공간을 조성하여 제주도의 경제 및 환경에 긍정적인 역할을 할 수 있기 때문이다. 또한, 경성호안은 높은 건설비용과 지속적인 유지보수비용을 요하므로 고밀 개발된 지역에 적절한 방안인 데에 반해 제주도의 연안에는 저밀의 자연촌락지역이 형성되어 있어 연안완충공간 조성이 재해의 영향을 완화하는 방안으로 유리하다고 할 수 있다.

연안 재해는 해양에너지 즉, 물을 기본 바탕으로 한 에너지 흐름을 기본으로 하기 때문에, 육역에서 투수층이 그 에너지를 여과하는데 매우 중요한 역할을 한다. 연안은 지형에 따라 투수하는 능력이 다른데, 본 논문은 지형의 형성과정과 구성 물질을 기준으로 해안을 사질해안, 암석해안, 인공해안 3가지로 분류하여, 각 지형의 분포 상태, 생태적 문제점, 재해에의 취약성을 분석하였다.

조사한 현황을 바탕으로 계획을 수립할 시 사질해안은 투수층간의 연결을 통해 토사순환이 원활하게 이루어질 수 있도록 하였고, 암석해안에서는 직접적인 피해를 막기 위해 일부 침수 위험이 있는 구간을 정비하는 계획을 제안하였으며, 인공해안에서는 불투수층을 감소시켜 재해에의 2차 피해를 줄이고자 하였다. 이는 해수면상승 대응 방안인 방어, 순응, 이주, 진출 전략을 참고

하여 계획을 수립하였다.

이를 바탕으로 각 연안 형태에 적합한 연안 재해에 대응하는 연안완충공간 계획을 제안하였다. 계획 시 다음 4가지 사항을 고려하였다.

첫째, 연안완충공간 조성은 곧 자연적인 재해완화 기능을 이용하여 완충지대를 조성하는 것이기에 주변 환경과 지역, 섬 전체의 생태를 훼손해서는 안 된다. 사질 연안과 암석 연안, 인공 연안이 맞물려 위치해 있기 때문에 지형에 따른 계획을 제시하는 데에 있어 각각의 맞닿아있는 연안에 부정적인 영향을 미치지 않아야 한다. 섬은 하나의 생태계로서 작동해야 한다. 계획으로 인한 환경 부하를 최소화 한다. 해류를 최대한 방해하지 않도록 하되 생태계의 서식지를 보호하며, 재해의 영향을 줄일 수 있는 방향을 지향한다.

둘째, 투수층간의 연결을 최대화 한다. 이는 해양으로부터 육지까지 이어지는 구간에 생태 축의 연결을 도모하여 두 공간의 물질적, 비물질적인 상호작용을 가능하게 한다.

셋째, 해양 에너지를 분산시킬 수 있는 충분한 규모의 완충공간을 계획한다. 배후의 기능적, 지형적인 여건 상 내륙으로의 공간이 확보되지 않는다면 해양의 범위 내에 계획될 수 있다.

넷째, 경관의 측면과 관광의 이점 또한 고려한다. 이는 재해 발생 여부에 관련 없이 지역 자체의 가치를 증진시켜 사회에 이득을 창출한다. 이를 고려했을 때, 사회의 동의를 얻기 용이하며, 계획의 실현가능성이 높다.

본 연구에서는 도출된 고려사항에 따라 연안육역에의 계획을 제안하였다. 이를 통해 기대해볼 수 있는 장점은 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 연안 시스템을 복원할 수 있다. 녹지축의 확장을 통해 풍수해의 영향을 완화시킬 뿐 아니라 생태계와 경관을 풍부하게 한다. 둘째, 미래의 해수면 상승 영향을 고려했을 때에 새로운 워터프론트에 대한 해답이 될 수 있다. 셋째, 경제적, 문화적인 측면에서도 긍정적인 효과를 불러일으킨다. 지역의 식생으로 이루어진 다양한 경관은 지역민의 교육의 기회 제공, 지역 소속감 증가, 지역 특성화 및 홍보 시 이용 등의 이점을 제공하며, 관광객에게는 지역의 생태 체험, 숲길 및 소규모 공원에서의 휴식 등의 장점이 있다.

본 연구는 현재의 연안 관리 방식인 경성 구조물 축조 방식에서 나아가 생태적 연성 방재 방안의 필요성을 조명하고, 제주도에의 적용 가능성을 밝히는 데에 의의가 있다. 또한, 사회에서 기후변화 현상이 주요하게 논의되고 있는 가운데, 조경의 분야에서 제안할 수 있는 기후변화 대응 방안을 모색하고자 하였다. 계획안을 제시하는 데에 있어 지형적, 생태적 요인 외의 사회적 요인을 고려하지 못하였다. 국제적으로 기후변화에 적응하는 계획에 있어 사회의 다양한 이해관계들의 참여가 요구되고 있다. 계획을 제안하는 데 있어 지역 주민, 지방 정부, 전문가, 환경단체와 같은 NGO 등의 의견을 수렴하여 계획의 실효성을 높일 필요가 있다.

참 고 문 헌

〈국내 문헌〉

연구보고서

- 국립민속박물관(2007). 『2007 제주민속문화의 해 : 제주민속조사보고서-제주의 민속문화④ <제주 꽃자왈>』, 국립민속박물관.
- 국립해양조사원(2010). 『해수면 변동 정밀분석 및 예측 용역 결과 보고서(2차)』, 국립해양조사원.
- _____(2012). 『연안재해취약성 평가체계(CDAS)구축 요약보고서-평가부문-』, 국립해양조사원.
- 남정호, 육근형, 최희정, 정지호(2009). 『기후변화 대응을 위한 연안지역 레질리언스(Resilience) 강화 방안: 기후변화 대응 연구』, 한국해양수산개발원.
- 남정호, 이원갑, 장원근, 이윤정, 한기원, 김미주, 안용성, 이윤주, 윤사랑, 이남순(2012). 『해양생태산업(Marine Eco-Industry) 체제 구축방안』, 국토해양부.
- 유가영, 김인애(2008). 『기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안』, 한국환경정책평가연구원.
- 육근형, 최희정, 정지호, 장정인(2008). 『연안완충공간의 보전 및 이용에 관한 연구: 해안림과 해안사구를 중심으로』, 한국해양수산개발원.
- 정주철, 이상범, 사공희, 이지현, 이달별(2007). 『자연친화적인 홍수방지방안 마련을 위한 연구: 토지이용계획 및 관리를 통한 홍수 피해완화방안을 중심으로』, 한국환경정책평가연구원.
- 제주관광공사(2010). 『제주 올레길 이용객 실태조사 보고서』, 제주관광공사.
- 제주특별자치도(2010). 『2015 제주특별자치도 도시관리계획』, 제주특별자치도.
- 제주특별자치도 환경자산보전관리과(2011). 『세계환경수도 조성 기본계획』, 제주특별자치도 환경자산보전관리과.
- 조광우, 노백호, 강정은, 민동기, 육근형, 황진환, 이해미, Nobuoka(2011). 『국가 해수면 상승 사회·경제적 영향평가 I』, 한국환경정책평가연구원.
- 환경부(2002). 『해안사구 보전관리지침』, 환경부·국립환경연구원.
- _____(2005). 『2004 전국해안사구정밀조사(II): 섭지코지·협재·사계』, 환경부·국립환경연구원.

학위논문

- 정진건(2013). 해안관리의 문제점과 그 개선방안. 관동대학교 대학원 석사학위논문, 미간행.
- 최진희(2008). 제주도 김녕-월정 해안사구 지역의 환경 변화 연구. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문, 미간행.

학술지 수록 논문

- 권동희(2012). “제주도 지형지,” 『한국사지리지학회지』, 22(1):1-12.
- 김태호(2003). “제주도 해안지대의 지형분류,” 『한국지형학회지』, 10(1): 33-47.

- 오승환, 김혁진(2008). “남해안 및 제주도 일대 해안사구의 자원식물상,” 『韓資植誌』, 21(5): 374-378.
- 유형석, 문정석, 김규한, 편종근(2004). “해안구조물 주변의 해안선 변화에 대한 연구,” 『대한토목학회』, 2004(10): 5554-5559
- 이동욱, 부양수, 박경호(2010). “기후변화에 따른 제주지역의 해수면상승 시나리오,” 『대한토목학회』, 대한토목학회 2010년도 정기 학술대회 논문집, pp. 2008-2011.
- 정진성, 조현천(2011). “유럽 해항도시 항만재개발 롤모델로서 하펜시티 함부르크의 특성에 관한 연구,” 『한국항해항만학회지』, 35(6): 539-550
- 최광희, 정필모, 김윤미, 서민환(2012). “태풍의 통과로 인한 해안사구 지형의 침식과 회복,” 『한국지형학회지』, 19(1): 17-27

학술대회 발표자료

- 김원, “유역종합치수대책의 추진현황과 과제,” 『국립방재연구소 추계 토론회 자료집』 (2004년 10월 26일).

정기간행물

- 최희정(2009). “연안 레질리언스 강화를 위한 미국의 노력,” 『해양국토21』 (2009년 5월).

보도자료

- 김경필, “탐동매립지 구조물 안전 ‘흔들’,” 『제민일보』 (2013년 4월 2일).
- 김봉현, “추가매립 논란 탐동을 향한 먹돌의 경고는?,” 『제주의 소리』 (2012년 11월 15일).
- _____, “탐동 주민들 잦은 월파에 쓰나미 공포 ‘벌벌’: 제주시 월파예방 종합용역 곧 착수…긴급 복구 작업도 발주, 8~9월 파도 덮쳐 2명 희생…최근 바닷물 역류현상 등 불안,” 『제주의 소리』 (2009년 12월 11일)
- 김용현, “해양생태계 급변 재앙이 밀려온다; 기후변화 중심의 제주, 위기서 기회 찾다,” 『제민일보』 (2012년 1월 29일).
- 뉴시스, “제주시, 2013년까지 탐동 매립지 월파피해방지 사업추진,” 『뉴시스』 (2010년 9월 24일).
- 신문웅, “대안해안국립공원, 해안사구 2개소 복원,” 『태안신문』 (2013년 10월 17일).
- 양영석, “연간 66억짜리 수익 댐, 고작 연어 때문에 허물어?—댐의 해체와 인공 홍수, 그리고 패러다임의 변화,” 『오마이뉴스』 (2008년 6월 19일).
- 연합뉴스, “塔洞 越波 피해 탐동 공유수면 매립 영향,” 『연합뉴스』 (1993년 3월 5일).
- _____, “濟州탐동매립지, 관광문화시설 본격 착수,” 『연합뉴스』 (1995년 2월 28일).
- 좌용철, “제주시 탐동 앞바다 대규모 매립은 안돼,” 『제주의 소리』 (2013년 2월 5일).
- 주애진, “남태평양 소국 카리바시- 나라 가라앉으니… 전 국민 이주,” 『동아닷컴』 (2012년 3월 13일).
- 허호준, “제주 탐동매립지, 자연재해 위험지구로 지정,” 『한겨레 뉴스』 (2010년 1월 6일).

기타

- 곶자왓공유화재단, “곶자왓공유화재단,” www.jejutrust.net/ (검색일: 2013년 9월 20일)
- 구글맵, "Google Map," <http://map.google.com/>
- 국립해양조사원, 해안침수예상도, 국립해양조사원 공개 제한 자료.
- _____, 해양관측과 보도자료, “국립해양조사원 우리나라 주변해역 해수면 변동 분석결과 발표,” <http://www.khoa.go.kr/basic/notice/view.asp?sgrp=A01&siteCmsCd=CM0892&topCmsCd=CM0893&cmsCd=CM0897&ntNo=1416&dvsNkWrD=&emgYn=&src=&srcTemp=&currPg=9&pnum=1&cnum=3> (검색일: 2013년 9월 8일).
- 네이버 지도, “NaverMap,” <http://map.naver.com/>
- 대한지적공사, “침수 흔적도: 2006년부터 2012년까지의 자료,” 대한지적공사 미래사업단.
- (사)제주올레, “제주올레,” <http://www.jejuolle.org/> (검색일: 2013년 9월 11일).
- 소방방재청, “2012년 재해연보,” 2012.
- 제주특별자치도, “2012년 통계연보,” 2012.
- 제주특별자치도 관광정보, “제주특별자치도 관광정보,” <http://www.jejutour.go.kr/> (검색일: 2013년 9월 11일).
- 제주특별자치도 관광협회, “제주관광 월별통계자료,” <http://www.hijeju.or.kr/> (검색일: 2013년 9월 11일).
- 제주특별자치도 재난안전대책본부, “제주특별자치도 재해위험지구,” http://bangjae.jeu119.go.kr/s_info/info_06_01.php (검색일: 2013년 11월 16일).
- 현재성, “제주 먹들의 경고,” KBS 환경스페셜 제521회, (2012년 11월 13일), KBS.
- 환경부, “환경부,” <http://www.me.go.kr> (검색일: 2013년 10월 23일).

〈국외 문헌〉

단행본

- Roggema(2009). *Adaptation to Climate Change: A Spatial Challenge*, Springer.

연구보고서

- Davies(2011). *Climate Change and Shoreline Protection*, Canada: ACASA.
- Dronkers, Gilbert, Butler, Carey, Campbell, James, McKenzie, Misdorp, Quin, Ries, Schroder, Spradley, Titus, Vallianos, Dadelszen(1990). *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise, Report of the IPCC Coastal Zone Management Subgroup: Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ICE(2010). *Facing up to Rising Sea-Levels*, London: Building Futures.
- IPCC(2007). *Climate change 2007: Working group I: The Physical Science Basis -Fourth Assessment Report*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change

학술지 수록 논문

- Gedan, Kirwan, Wolanski, Barbier, Silliman(2011). "The Present and Future Role of Coastal Wetland Vegetation in Protecting Shorelines: Answering Recent Challenges to the Paradigm," *Journal of Climate change*, 106(1): 7-29
- Holling(1973). "Resilience and Stability of Ecological Systems," *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 1-23.
- Jung and Lee(2013). "Sustainable Flood Mitigation through Land Use Planning and Management," *Journal of KOSHAM*, 13(1): 361-369
(Online: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.1.361>)
- Shepard, Crain, Beck(2011). "The Protective Role of Coastal Marshes: a Systematic Review and Meta-Analysis," *Journal of PLoS One*, 6(11): e27374.

논문수록집에 수록된 논문

- Harada, Kenji. "Effects of Coastal Forest on Tsunami Hazard Mitigation: a Preliminary Investigation," in *Tsunamis*. Imamura, Fumihiko(eds.)(2005). Springer.

학술대회 발표자료

- Isobe, "Impact of Global Warming and Response Strategy in the Coastal Zone," *Coastal Structures 2011*, (2011년 9월 5일).

보도자료

- Thomas Kaplan, "Cuomo Seeking Home Buyouts in Flood Zones," 『The New York Times』 (2013년 2월 3일).

기타

- California water&Land Use Partnership(2008), *How Urbanization Affects the Water Cycle*, <http://www.coastal.ca.gov/nps/watercyclefacts.pdf> (검색일: 2014년 1월 12일).
- EDF(Environmental Defense Fund), "Signs of Progress for the Mississippi River Delta," <http://www.edf.org/ecosystems/restoring-mississippi-river-delta> (검색일: 2013년 10월 23일).
- IPCC, "Intergovernmental Panel on Climate Change," <http://www.ipcc.ch/> (검색일: 2013년 10월 23일).
- Joop van Houdt, "Joop van Houdt: Zandmotor," <http://defotograaf.eu/> (검색일: 2014년 1월 10일).

- Microbewiki, "Microbewiki," <http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Wetlands> (검색일: 2013년 9월 20일).
- United Way of Long Island, "United Way: Live United," <http://www.unitedwayli.org/> (검색일: 2014년 1월 10일).
- Weedist, "Weedist: A community of cannabis connoisseurs," <http://www.weedist.com> (검색일: 2013년 10월 11일).
- Wikipedia, "Wikipedia," <http://en.wikipedia.org> (검색일: 2013년 9월 20일).

Abstract

Soft Protection Planning for Mitigating Hydrological Hazards in the Coastal Area of Jeju Island

Advised by Prof. Yumi Lee

December 2013

Hae seung Sung

M.L.A Thesis

Department of Landscape Architecture
Graduate School of Environmental Studies
Seoul National University

Sea-level rise is a pan-earth phenomenon, which threatens costal zones by causing inundation in lowland, coastal erosion and driving severe coastal disasters. Jeju Province is vulnerable to sea-level rise phenomenon because of two reaseons. First, geographically Jeju Province is the volcanic island, that the ratio of coastal line length to land area is very high. Second, main urban functions and most of the city infrastructures of Jeju island are located in the lowland of coastal area because there is high mountain in the middle of the island. Since the rate of sea level rise near Jeju Island is three times higher than the rate of global mean sea level rise, it will further

strain Jeju island's vulnerability.

The traditional method to protect coastal zone from hydrological hazards is the hard protection. Although it effectively protects immobile urban infrastructures by building seawall between land and sea, rapid sea-level rise can overpass or damage the seawall. Furthermore, islands like Jeju where tourism is the main industry have limits in keep building embankment.

Soft protection, on the other hand, attracts attention as a method to flexibly respond to environmental changes. When external energy reaches to the coastal zone, geographical elements in coastal zone has resiliency which mitigates external energy and maintains previous status through dynamic energy interactions with environments. In other words, natural coastal terrains such as marsh, sand dune, coastal forest, and rocks have buffer function from the coastal disasters. Although disaster buffer effects may be different according to shape and composition of geology, it is environment friendly and enhances coastal views as it is flexible to external environmental changes and uses ecological flows.

Soft protection is suitable disaster mitigating means to Jeju-do where environments are highly important and famous industry is eco-tourism considering the characteristics of soft protection. Accordingly, the purpose of this study is to propose a soft protection plan considering regional situations of Jeju island. The second purpose is to propose a plan with ecological, economic and landscaping advantages as well as disaster protection. It is to attract attention of local community and to increase effectiveness of the plan.

This article classified the coastal areas as a sandy coast, rocky coast, and an artificial coast based on the terrain composition process and materials composing the terrain and analyzed distribution of each terrain, ecological issues, and vulnerabilities. As coastal disasters are based on marine energy,

so to speak, energy flows of water, permeable layers are very important in land area in filtering the energy. Rocky coast has excellent infiltration capacity because of large grains of the components. As the sandy coast has various terrains composing coastal land areas and responses sensitively to external environmental stimulations, this study focuses on sandy coast.

Based on the results of the analysis, we proposed a soft protection plan to respond to coastal disasters appropriate for the coast type. The following 4 items were considered for the plan.

First, as soft protection creates natural buffer zone, it should not damage ecology of neighborhood, region and the whole island. As sandy coast, rocky coast and artificial coast are interlocked together; it should not make negative effects on the nearby coasts. An island should operate as single ecosystem. We need to minimize load of the plan on environments. It is very important not to interrupt sea current in order to protect habitats of ecosystem, and to minimize effects of disasters.

Secondly, we need to maximize the connection between permeable layers. It enables material and non-material interactions of two spaces by improving connection of ecological axis connecting ocean and land.

Thirdly, we need to plan enough buffer space to scatter marine energy. If it is difficult to secure space in the land because of functional and geographical conditions, it can be planned in the ocean.

Last, but not least, tourism should be considered. It will create benefits for community by improving the value of the region regardless of occurrence of disasters. Considering it, it will be easier to get social agreement and feasibility of the plan gets higher.

We proposed a plan in coastal areas according to considerations induced in this study. Advantages that we can expect from the plan are the following three. First, we can restore coastal system. We may be able to

mitigate the effects of damage from storm and flood through the expansion of green network and enrich ecology and landscapes. Second, it can be an answer for new water front when the effects of sea-level rise in the future are considered. Third, it can bring positive effects from economic and cultural perspectives. Various landscapes made up of local vegetation will provide advantages such as provision of educational opportunities of local residents, increase of sense of belonging, and utilization in local community characterization and PR. They also provide advantages to tourists such as experience of local ecology and rest in forest lanes and small parks.

This study is meaningful in that it illuminates the necessity of ecological soft protection departing from the existing hard protection methods, and showed possibility to apply soft protection to Jeju-do. Additionally, while the climate change phenomenon is being discussed as a major issue, we tried to find countermeasures against weather change that can be proposed in the field of landscaping. When proposing a plan, we could not consider social factors other than geological and ecological factors. In the plan adjusting to global weather changes, participation of various interested groups is required. We need to increase of feasibility and efficacy of the plan by reflecting opinions of local residents, local governments, experts and NGOs including environmental groups.

■ Key words : Soft protection, Resilience, Hydrological Hazards, Sea level rise, Jeju Province

■ Student Number : 2012-22072